

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию 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 диссертационной работы Малышевой А. А. не вызывает сомнений, так как мезомасштабные вихри играют ключевую роль в динамике океана. Способность вихрей переносить термохалинные и биогеохимические характеристики из районов формирования на дальние расстояния может оказывать существенное влияние на климатические процессы как регионального, так и глобального масштаба. Исследование вихрей – важная задача в познании глобальной океанической циркуляции.

Основной целью диссертационной работы Малышевой Алины Анатольевны является выявление специфических особенностей мезомасштабной вихревой динамики Южной части Атлантического океана на основе данных спутниковой альтиметрии, глобального океанического реанализа GLORYS12V1 и дрейфующих буев Argo. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 155 наименований, 46 рисунков и 5 таблиц. Во введении объяснена актуальность темы исследования, представлены цели и задачи работы, обсуждается научная новизна, а также теоретическая и практическая значимость исследования, представлен вклад автора и изложены положения, выносимые на защиту. Приведен перечень публикаций (всего 7, из них — 4 в журналах, которые индексируются в базах Scopus и Web of Science, 3 — в российских периодических изданиях, включенных в список ВАК и РИНЦ) и представлена апробация работы.

Для решения поставленных в работе задач и достижения цели автор использует комбинацию спутниковых и *in situ* данных, которые включают в себя ряды измерений температуры и солености воды, высоты поверхности моря, скорости течений, а также данные реанализа океанографических параметров. Анализ данных выполнялся при помощи современных методов исследования океанологических полей. В результате исследования были получены новые результаты, которые представлены в положениях, выносимых на защиту. Рассмотрим их по порядку, отметив достоинства и недостатки.

1. Установлено, что среднее теплосодержание и солесодержание в одном вихре Агульясова переноса –  $2.03 \times 10^{15}$  Дж и  $4.83 \times 10^{11}$  кг, соответственно. Один вихрь Агульяса переносит в среднем 8.5 Sv, при этом транспорт тепла и соли одним

*мезомасштабным вихрем Агульсова переноса в среднем составляет  $2.25 \times 10^9$  Вт и  $5.36 \times 10^5$  кг·гс<sup>-1</sup>, соответственно.*

Автором выполнен анализ явления Агульсова переноса на основе данных альтиметрии и информации, полученной от буев Argo. Приведены результаты анализа временной изменчивости числа вихрей Агульсова переноса, а также оценка Агульсова переноса на основе метода со-локации.

*Научная новизна* данного положения состоит в получении автором оценок теплосодержания ( $2.03 \times 10^{15}$  Дж) и солесодержания ( $4.83 \times 10^{11}$  кг) в отдельном вихре Агульса, а также оценки расхода (8.5 Sv) и переноса тепла ( $2.25 \times 10^9$  Вт) и соли ( $5.36 \times 10^5$  кг с<sup>-1</sup>) вихрем Агульса на основе метода совместного анализа альтиметрических данных и данных буев-профилемеров Argo.

*Практическая значимость.* Использование альтернативного метода для оценки характеристик Агульсова переноса позволяет уточнить уже имеющиеся оценки, полученные различными методами.

*Недостатки.* Неясно, зачем даны цифры до 2 знака после запятой, учитывая, что оценки являются средними. Средние оценки основаны на выборке только из шести долгоживущих вихрей, которые длительное время дрейфовали с захваченными буями Argo, поэтому они являются очень приблизительными и неточными

- 2. Вихри Агульса, образующиеся в результате распада рингов течения Агульса, переносят свойства вод Индийского океана, при этом в Капской котловине происходит трансформация термохалинной структуры вихрей, в которых частицы постепенно замещаются частицами вод течений Южно-Атлантического круговорота, образуя в вихрях двухмодовую структуру вод.*

При помощи метода Лагранжева анализа описывается перенос и перемешивание вод в Капской котловине. На основе ежедневных карт Лагранжевых показателей анализируется происхождение вод и их влияние на вихри Агульса. К достоинству данной части работы следует отнести использование ежедневного ряда данных глобального океанического реанализа за 10 лет. За данный временной период (с 2010 по 2020 год) было проанализировано 7 видов ежедневных Лагранжевых карт. Показано, что главная особенность исследуемого района – смешение трех типов вод, а влияние Южно-Атлантического круговорота на Агульсов перенос гораздо значительнее, чем считалось ранее. Воды Агульсова переноса происходят не только непосредственно из течения Агульса, но также из Южно-Атлантического круговорота и Бенгельского течения. Эффект

смещения различных типов вод может влиять на формирование двухмодовой структуры вихрей, описанной ранее в другом исследовании. Также с использованием алгоритма AMEDA была получена статистика вихрей в исследуемом районе. По распределению продолжительности жизни вихрей видно, что антициклоны имеют больший срок жизни, чем циклоны. Продолжительность жизни большинства вихрей — менее 100 дней, но некоторые вихри (с наибольшей длиной траектории) могут существовать более 500 дней.

*Научная новизна.* Интерпретирована двухмодовая термохалинная структура вихрей в Капской котловине, которая объясняется взаимодействием вихрей Агульяса с водами Южно-Атлантического круговорота и Бенгельского течения.

*Практическая значимость.* Представленные результаты способствуют расширению знаний о процессах циркуляции и взаимодействия вод в Капской котловине.

*Недостатки.* Не указано, проводилась ли валидация данных реанализа. Также неясно, адекватен ли подход, при котором рассматривается лишь один горизонт для исследования циркуляции вод, так как океан трехмерен.

3. *На основе спутниковых данных установлено, что при движении антициклонических вихрей Агульяса на запад, происходит их меридиональное смещение к экватору. Оценки меридионального смещения изменяются в диапазоне 9 – 895 км. Возможным физическим механизмом, объясняющим меридиональное смещение вихрей, является узконаправленное угловое излучение длинных волн Россби незональными течениями.*

В данной части работы анализируются распространяющиеся в Южной Атлантике долгоживущие антициклоны Агульяса. На основе данных спутниковой альтиметрии исследуются треки вихрей, анализируется изменение параметров вихрей при взаимодействии с топографией (амплитуда, радиус, орбитальная скорость), оценивается меридиональное и зональное смещение вихрей при перемещении в западном направлении, а также пройденные расстояния и периоды жизни долгоживущих вихрей.

*Научная новизна.* В работе получены оценки зонального и меридионального смещения вихрей течения Агульяса. Также автор предлагает новую интерпретацию меридионального смещения вихрей, проанализировав существующие теории, в которых обсуждается меридиональное смещение.

*Недостатки.* Неясен смысл раздела 4.3, в котором обсуждается трансформация волн Россби на незональном течении, в рамках исследования смещения вихрей.

4. При взаимодействии вихрей с течением происходит вытягивание мезомасштабных вихрей в филаменты, при этом кинетическая энергия вихрей уменьшается с  $3 \times 10^{15}$  до  $2,6 \times 10^{15}$  Дж, а доступная потенциальная энергия уменьшается с  $4 \times 10^{18}$  до  $0,1 \times 10^{18}$  Дж.

Данное положение рассматривается в Главе 5. В 1 разделе рассматриваются динамические характеристики вихрей (в том числе потенциальная завихренность в подходах Эртеля и Россби). Для расчетов использовались данные глобального реанализа GLORYS12V1 с временной дискретностью 1 сутки и пространственным разрешением  $1/12^\circ$ . Далее анализируется вертикальная структура вихрей Агульяса различной полярности. Результаты представлены в виде вертикальных разрезов, значения рассчитывались относительно среднегодовых значений в соответствующих точках. В последнем разделе данной главы исследуется взаимодействие вихрей с баротропным потоком, в частности изменение доступной потенциальной и кинетической энергии при вытягивании вихрей.

*Научная новизна.* Получен очевидный вывод, что при трансформации вихрей путем вытягивания происходит значительное уменьшение доступной потенциальной и кинетической энергии.

*Недостатки.* Отсутствует формулировка научной проблемы, частной задачи в рамках этой проблемы, которая решалась в данной части работы. Защищаемое положение — это новый научный результат, но перераспределение энергии с мезо- на субмезомасштаб — известный факт.

#### ***Замечания по диссертации в целом.***

1. Во введении не указывается, каким пунктам паспорта специальности 1.6.17. Океанология (географические науки) соответствует диссертация.
2. На рисунках 3.1, 3.9, 3.23, 3.24 и нескольких последующих рисунках не подписаны оси.
3. На рисунках 1.2 и 3.2 плохо читаются надписи и цифры.
4. Разделы 2.1.6 «TEOS-10» и 2.1.7 «Алгоритм AMEDA» относятся к методам, а не к разделу «Данные».

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертацию Малышевой Алины Анатольевны на тему «Вихревая динамика южной части Атлантического океана на основе

*спутниковых, натурных и модельных данных»* можно считать законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне. Диссертация соответствует паспорту специальности 1.6.17 Океанология (географические науки) по пункту 3: «Динамические процессы (волны, вихри, течения, пограничные слои) в океане».

Диссертация **Малышевой Алины Анатольевны** на тему: **«Вихревая динамика южной части Атлантического океана на основе спутниковых, натурных и модельных данных»** соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Малышева Алина Анатольевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17. Океанология. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не установлены.

Член диссертационного совета  
Доктор географических наук, профессор,  
профессор кафедры прикладной океанографии  
и комплексного управления  
прибрежными зонами РГГМУ



Малинин В.Н

Дата: 20 сентября 2024