

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Сандалюка Никиты Валерьевича на тему: «Исследование синоптической изменчивости в динамически активных районах Мирового океана по данным спутниковой альтиметрии и *in situ* наблюдений», представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.28 – Океанология.

Научная проблема, рассмотренная в диссертации, - пространственно-временная изменчивость мезомасштабных вихрей и бароклинных волн Россби в Мировом океане по спутниковым и натурным данным. Эта проблема конкретизируется автором в **цели работы**: «изучение особенностей мезомасштабной динамики Мирового океана на примере трех регионов с различной динамической активностью: район течения Агульяс, район Лофотенской котловины и Австрало-Антарктический бассейн» (с.7 диссертации). **Объект** исследования - мезомасштабные вихри и бароклинные волны Россби. **Предмет** исследования - региональная специфика динамики мезомасштабных вихрей и бароклинных волн Россби и особенности их проявления в различных районах Мирового океана. Диссертационная работа по структуре и содержанию охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы.

Актуальность проблемы обусловлена тем, что в изучении объектов исследования: 1 – нет единого понимания роли мезомасштабных вихрей в динамических, климатических и биологических океанических процессах и системах; 2 – слабо изучена пространственная термохалинная структура мезомасштабных вихрей и ее сезонная изменчивость; 3 – мало исследован вклад линейных и нелинейных процессов в мезомасштабную вихревую активность в океане в различных широтах; 4 – слабо исследовано влияние региональных особенностей на процессы генерации и диссипации вихрей, характер взаимодействия мезомасштабных вихрей с течениями и донной топографией; 5 – требуется разработка и апробация моделей оценки и прогноза транспорта тепла и солей, переносимых вихрями в ключевых районах Мирового океана; 6 - требуется выявление новых возможностей спутниковой альтиметрии в исследовании мезомасштабной динамики Мирового океана и разноаспектная ГИС - визуализация полученных результатов.

Все, сказанное выше, подтверждает высокую актуальность рецензируемой диссертационной работы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Для выполнения цели исследования автором диссертации решаются **четыре задачи** (с.7 диссертации):

1 - сравнение линейных и нелинейных эффектов в уравнении сохранения потенциального вихря на основе данных спутниковой альтиметрии для трех районов Мирового океана; **2** - комплексный анализ мезомасштабной вихревой динамики для района течения Агульяс, а также получение трехмерных композитных структур циклонических и антициклонических вихрей и оценка объемов вихревого транспорта для исследуемого региона; **3** - анализ трехмерной структуры мезомасштабных вихрей, формирующихся в регионе Лофотенской котловины, оценка объемов вихревого транспорта, осуществляемого циклонами и антициклонами в данном регионе, а также оценка пространственного распределения зонального и меридионального вихревого транспорта в данном регионе; **4** - исследование градиентно-вихревых волн в Австрало-Антарктическом бассейне по данным спутниковой альтиметрии для открытого океана (волны Россби) и для береговой зоны океана (захваченные шельфовые волны).

В соответствии с поставленными задачами, на защиту автором вынесены **четыре основных положения** (с.7-8 диссертации, пронумерованы рецензентом): **1** - оценки

вклада линейных и нелинейных слагаемых в уравнение сохранения потенциального вихря, рассчитанные для различных районов Мирового океана по данным спутниковой альтиметрии; **2** - трехмерная композитная структура циклонических и антициклонических вихрей Лофотенской котловины; **3** - классификация мезомасштабных вихрей района течения Агульяс с построением композитной структуры вихрей; **4** - характеристики волн Россби в Австрало-Антарктическом бассейне и оценки скоростей шельфовых волн, рассчитанные по данным спутниковой альтиметрии.

Основные выводы по работе подробно изложены в разделе «заключение» диссертации (с.113-118).

Первый вывод (с.113-114) акцентирует выполнение задачи 1, раскрывает положение 1, упомянут автором в п.1 новизны исследования (с.8, нумерация пунктов новизны выполнена рецензентом). Автором показано, что сравнение вкладов линейных и нелинейных эффектов в уравнении сохранения потенциального вихря подтвердило доминирование нелинейных эффектов в низкочастотной изменчивости уровня. Подтверждены результат и выводы статьи Chelton et al., 2011, о существенной нелинейности всех неоднородностей в поле уровня, выделенных методом автоматической идентификации. Подтверждена обоснованность использования «критерия нелинейности структур» (безразмерный адвективный критерий нелинейности Chelton et al.) путём сравнения максимальной окружной скорости частиц этих неоднородностей и скорости их перемещения. Уточнено, что метод автоматической идентификации вихрей в поле уровня океана выделяет не только вихревые структуры, но и другие неоднородности, для которых значение параметра Окубо-Вейса может быть положительным. Эти нелинейные структуры образованы сдвиговыми и нормальными составляющими течений и, по существу, не являются вихрями. При этом параметр нелинейности, являющийся отношением окружной скорости к скорости их перемещения, может значительно превышать единицу.

Автором выполнено сравнение оценок линейных и нелинейных слагаемых для четырех районов Мирового океана. В итоге показано, что в низких широтах нелинейные эффекты **на порядок превышают линейные**, в то время как в средних широтах эти характеристики **отличаются на два порядка**. Выявлено, что в ранних исследованиях, посвящённых анализу низкочастотной изменчивости по спутниковым альтиметрическим данным, вклад волн Россби в низких широтах Индийского океана был значительно преувеличен.

Второй вывод (с.114-115) акцентирует выполнение задачи 2, раскрывает положение 3, упомянут автором в п.2 новизны исследования (с.8). Автором выполнен комплексный анализ и детальное исследование пространственного распределения характеристик, особенностей перемещения мезомасштабных вихрей для района течения Агульяс. Исследованы возможные механизмы их генерации, подтверждена определяющая роль рельефа (у автора – топографии) дна и динамики вод на процессы генерации и диссипации мезомасштабных вихрей. Автором получены трехмерные композитные структуры циклонических и антициклонических вихрей в исследуемой акватории, оценены объемы воды, тепла, соли, переносимых антициклоническими и циклоническими вихрями. Исследован характер зонального и меридионального вихревого транспорта в масштабах изучаемой акватории. Показано, что в исследуемом регионе выделяются два района повышенного вихреобразования, которые различаются по траекториям и направлению перемещения сформировавшихся вихрей. Для вихрей, образовавшихся в первом районе, характерна северо-западная траектория передвижения, вихри, сформировавшиеся во втором районе, имеют хаотичные траектории дрейфа и практически не выходят за пределы района. Автор связывает это с «топографическим захватом их энергии» (с.114). Показано, что для всех выделенных вихрей характерна сильная нелинейность, определены районы с максимальными значениями проявления эффекта.

На основе метода сопоставления натуральных данных и данных спутниковой альтиметрии получены трехмерные композитные структуры антициклонических и циклонических вихрей. Определены районы и параметры вихрей для антициклонов и циклонов и особенности влияния вихрей на термохалинные характеристики окружающих вод (расположение ядра, средний объем вихрей, объемы тепла и соли транспортируемых вихрями; значения «зонального транспорта» для вихрей, их направления и максимумы). Выявлены особенности меридионального вихревого транспорта в исследуемом регионе: преобладание северного транспорта для антициклонов в районе Капской котловины и к востоку от плато Агульяс и преобладание южного направления меридионального транспорта для циклонических вихрей. В шельфовой зоне наблюдается преимущественно южный меридиональный транспорт для вихрей обеих полярностей.

Третий вывод (с.115-116) акцентирует выполнение задачи 3, раскрывает положение 2, упомянут автором в п.3 и 4 новизны исследования (с.8). Для района Лофотенской котловины автор выполнил анализ трехмерной структуры мезомасштабных вихрей, оценил объемы вихревого транспорта, осуществляемого антициклоническими и циклоническими вихрями, получил оценки пространственного распределения зонального и меридионального вихревого транспорта в регионе. Как и в выводе №2 определены районы и параметры вихрей для антициклонов и циклонов и особенности влияния вихрей на термохалинные характеристики окружающих вод (расположение ядра, средний объем вихрей, объемы тепла и соли транспортируемых вихрями; значения «зонального транспорта» для вихрей, их направления и максимумы). К региональным особенностям Лофотенского бассейна отнесены: 1- определяющее влияние аномалии температуры на термохалинную структуру вихрей Лофотенского бассейна; 2- асимметрия, выраженная в смещении ядра вихря относительно его геометрического центра; 3- зональный вихревой транспорт имеет преобладающее западное направление, достигая максимума в северо-восточной части изучаемого региона. Подтверждается ключевая роль мезомасштабных вихрей в транспорте тепла и соли от NwASC в центральную часть бассейна.

Четвертый вывод (с.116-117) акцентирует выполнение задачи 4, раскрывает положение 4, упомянут автором в п.5 новизны исследования (с.8). Автор проанализированы средние характеристики и особенности временной изменчивости двух долгоживущих вихрей в Австрало-Антарктического бассейне по данным спутниковой альтиметрии и по данным массива «MEAO SSH» (аббревиатура рецензента). Эти вихри также выделены на изоплетах в поле аномалий уровня. Рассчитаны скорости перемещения и параметры нелинейности, проанализирована временная изменчивость характеристик. Показано что значения амплитуды циклонического вихря по массиву «MEAO SSH» отличаются от амплитуды в поле аномалий уровня, это диссертант объясняет «особенностями процедуры автоматической идентификации».

Автором установлено, что рассматриваемые вихри перемещаются преимущественно зонально, однако также присутствует и меридиональная составляющая. Рассчитаны скорости перемещения вихрей различными способами: по дисперсионному соотношению для волн Россби (теоретические оценки), по методу Радона (эмпирические оценки) и по массиву «MEAO SSH». Выяснилось, что эмпирические оценки скоростей несколько превышают теоретические, но значительно уступают оценкам скоростей, рассчитанным по данным массива «MEAO SSH». Последнее обстоятельство обусловлено тем, что в указанном массиве учитывается перемещение вихрей не только в зональном, но и меридиональном направлении. Показано, что временная изменчивость характеристик существенно нестационарная, а экстремумы могут превышать средние значения в 2–3 раза.

В целом сделан вывод о том, что сопряжённый анализ изоплет и данных массива «MEAO SSH» представляется перспективным методом исследования мезомасштабной изменчивости океана. При анализе данных, полученных с помощью алгоритмов автоматической идентификации, необходимо учитывать, что выделяемые автоматическим

образом неоднородности в поле аномалий уровня определяются комплексом условий и зависят от особенностей процедуры идентификации.

Пятый вывод (с.117-118) акцентирует выполнение задачи 4, раскрывает положение 4, упомянут автором в п.6 новизны исследования (с.8). На основе классических моделей («арсенал методов», с.112) автором проведен анализ шельфовых волн в Большом Австралийском заливе. Впервые это выполнено в рецензируемой работе на основе данных спутниковой альтиметрии за период 1993-2018 гг. с высоким пространственным разрешением данных. Сделаны важные для региона выводы: **1** - о существовании в прибрежной области Большого Австралийского залива низкочастотных шельфовых волн, которые распространяются в восточном направлении, оставляя берег слева. Показано, что при совпадении определенных параметров наблюдаемые волны могут приобретать черты стационарных течений; **2** - о большой длине шельфовых волн Большого Австралийского залива. Выделены волны с периодами 22, 30, 38 суток с длинами, изменяющимися в диапазоне от 1500 до 2500 км.; **3** - о близости полученных по литературным источникам скоростей шельфовых волн к оценкам, рассчитанным по пространственно-временным спектрам; **4** - о близости оценок скоростей баротропных шельфовых волн в Большом Австралийском заливе полученных по теории Робинсона (Robinson, 1964) к оценкам скоростей по данным спутниковой альтиметрии; **5** - о направлении и скоростях шельфовых волн (направлены на восток с осредненными за весь период скоростями 20 см/с). Южнее области шельфа, волны направлены на запад, как планетарные волны Россби, со средними скоростями, достигающими 15 см/с. **6** – о существенном изменении во времени и пространстве интенсивности колебаний уровня с периодами 22, 30, 38 суток вдоль контуров 50, 100 и 200 м и существенной неоднородности изменения скоростей волн как во времени, так и на различных отрезках контура. Для трех контуров отмечается увеличение скорости волн в восточной части Большого Австралийского залива по сравнению с другими частями шельфа.

Анализ соответствия защищаемых положений и их новизны задачам проекта по тексту диссертации, выявил соответствие задач, защищаемым положениям и пунктам новизны исследования. Это позволяет соискателю построить доклад и защиту на основе защищаемых положений и выводов по ним. Формулировка положений дает возможность перечислить, что защищает диссертант, и детализирует что получено в результате исследования.

Научная новизна исследований выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Анализ соответствия новизны задачам и защищаемым положениям, выполненный выше, показывает, что во всех задачах и положениях, выносимых на защиту, новизна присутствует, однако в пунктах новизны **диссертационного исследования** желательно акцентировать новые методы (методики, алгоритмы, модели), разработанные автором (или при его участии) и новые результаты, полученные на основе авторского подхода с использованием спутниковой альтиметрии.

Выявление новизны в решении поставленных задач связано с описанием **личного вклада** соискателя в выполненное исследование (раздел «личный вклад автора» имеется в тексте диссертации, с.13). Текст раздела «Личный вклад автора» относится не к тексту диссертации, а к публикациям, выполненным автором (в соавторстве) на основе которых подготовлена диссертация.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Полученные в диссертации результаты обладают научной и практической значимостью, расширяют существующие теоретические представления о закономерностях

и особенностях формирования современных представлений о методологической основе и методах использования спутниковой альтиметрии для исследования мезомасштабных вихрей в Мировом океане. Автором в работе изложены возможности использования автоматического алгоритма идентификации вихрей как для исследования поверхностных характеристик вихрей, так и для получения вертикальных и горизонтальных распределений термохалинных характеристик в циклонах и антициклонах методом сопоставления спутниковых и натуральных данных. Полученные оценки термохалинного транспорта могут служить основой для исследования степени влияния мезомасштабных вихрей на региональные динамические и климатические процессы в ключевых районах Мирового океана. Полученные трехмерные структуры вихрей в дальнейшем могут использоваться для более углубленного исследования влияния мезомасштабных вихрей на биогеохимические процессы в регионах. Полученные результаты могут быть использованы для валидации вихререзающих климатических моделей в исследуемых регионах, а также для отслеживания проявлений вихрей в STD профилях, полученных с помощью судовых наблюдений, автономных буев и глайдеров. Результаты диссертационного исследования целесообразно использовать для оценки и прогноза биологической продуктивности вод, на которую существенное влияние оказывают мезомасштабные циклонические вихри. В особенности это актуально для региона Лофотенской котловины, который традиционно является зоной активного рыболовного промысла.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности

Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения и списка литературы. Результаты диссертационного исследования представлены на 131 странице машинописного текста и включают в себя 63 рисунка и 6 таблиц. Библиография содержит 174 наименования. Рукопись на английском языке имеет объем 116 стр.

В целом, содержание работы соответствует заявленным задачам и раскрывает положения, выносимые на защиту, однако структуризация работы, по мнению рецензента, не является оптимальной. Вопросы и замечания по работе приведены ниже.

Достоверность представленных результатов определяется репрезентативностью спутниковой альтиметрической информации, которая дает возможность исследования океанологических полей в широком диапазоне пространственно-временных масштабов изменчивости. Исходные спутниковые продукты представляют собой результат международного сотрудничества космических агентств NASA и ESA, а также ряда европейских и американских исследовательских институтов. Используемые *in situ* данные прошли различные ступени контроля качества и калибровки.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертационном исследовании, обеспечивается апробированной методологией и применением современных методов анализа эмпирической информации, описывающих рассматриваемые процессы.

В целом диссертация Сандалюка Никиты Валерьевича, является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной научной задачи – разработки подхода к оценке особенностей мезомасштабной динамики Мирового океана на примере трех регионов с различной динамической активностью: район течения Агульяс, район Лофотенской котловины и Австрало-Антарктический бассейн.

Вопросы и замечания по тексту работы.

1. При ознакомлении с текстами диссертационной работы и некоторых статей, приведенных в списке работ, опубликованных по теме диссертации, обнаруживаются общие акценты и формулировки. В связи с этим рецензентом была выполнена проверка текста диссертации без списка литературы (118 стр.) сервисом «Антиплагиат»

<http://users.antiplagiat.ru> по тарифу «Full» (платный, близок к сервису «Кольцо вузов»), приложение к рецензии (файл Report_143_20210406_.pdf). Проверка показала оригинальность текста **69,06%**, заимствования 12,70%, самоцитирования 16,64%, цитирования 1,6%. Учитывая, что самоцитирование (а по положению ВАК диссертант обязан опубликовать все основные идеи диссертации) воспринимается проверяющей системой как плагиат, проверяющий должен в ручном режиме делать соответствующую правку – таким образом, с точки зрения рецензента, процент самоцитирования следует прибавлять к проценту оригинальности. В этом случае оригинальность текста составляет 85,70% и на взгляд рецензента соответствует требованиям по присуждению ученых степеней в диссертационных советах СПбГУ.

2. Процессы синоптического масштаба в океанах и морях отличаются большим разнообразием и вносят определяющий вклад в энергию движения морских вод. В океанологии под синоптической изменчивостью принято понимать неоднородности в океанологических полях, имеющие характерные временные масштабы от нескольких суток до месяцев и пространственные - от десятков до тысяч километров. Основой исследования являются спутниковые альтиметрические данные. Сам масштаб и причины изменчивости не заявлены автором как предмет исследования. По названию работы не ясно, о синоптической изменчивости каких явлений, процессов, полей, параметров, систем и т.п. идет речь в работе (см., например, название диссертации Председателя ДС Захарчука Е.А. «Синоптическая изменчивость уровня и течений в морях, омывающих северо-западное и арктическое побережья России»). Предмет исследования (абзац из 3 предложений на с.5) определен автором излишне многословно, как региональная специфика динамики и особенности проявления мезомасштабных вихрей и бароклинных волн Россиби в различных районах океана, оценка нелинейности (чего? отдельных эффектов в уравнении сохранения потенциального вихря?) для различных акваторий, трехмерная термохалинная структура вихрей, степень влияния, вихрей на перенос тепла и соли в выбранных регионах.

3. Структуризация работы уязвимая. В работе всего 7 разделов. Из них 3 раздела (главы) не имеют подразделов. Оптимизировать структуру работы можно было с учетом того, что первый раздел (главу) целесообразно отвести теоретико-методологическим основам решения научной проблемы и основной задачи в рамках проблемы, которую решает автор (научную проблему и основную задачу в рамках проблемы надо сформулировать).

Второй раздел (главу) традиционно отводят методическим основам решения научной проблемы (выполняется обзор методов, в том числе в конце главы приводится результат творческой деятельности автора, который является новым и выражается в определенном наборе информационных подходов, включающих формулы, методы, методики, модели, алгоритмы и т.п.).

Третий раздел (главу) отводят апробации авторского подхода (методов, методик, моделей) для решения научных задач по избранной теме (специальности). Иногда дополнительно вводят раздел (главу), посвященную информационной базе исследований и совершенствованию мониторинга для решения поставленных задач. В таком случае этот раздел (глава) чаще становится третьим, а раздел по апробации авторского подхода – четвертым разделом работы.

Логика первой и второй глав диссертации в целом укладываются в приведенный выше формат (при условии дополнения раздела 1.1 авторскими определениями и научными гипотезами, обзором публикаций по теме за последние годы и акцентирования общей идеи авторского подхода во второй главе работы во втором или третьем подразделе). Отметим здесь, что если из первой главы убрать характеристику регионов исследования, то на методологические основы работы остается всего 3,5 стр. текста (кратко акцентированы теоретические аспекты мезомасштабной вихревой динамики). Главы 3-7 можно объединить в одну или две главы, в которых рассмотрены региональные

примеры апробации авторского подхода и анализ полученных результатов. Текст этих глав изложен в публикациях автора и, по-видимому, может быть сокращен.

Высказанные замечания носят рекомендательный характер. Рецензент отмечает высокий уровень и глубину выполненного исследования, научную новизну и перспективность подхода автора для решения поставленных задач. Важно, что результаты диссертации получены автором при работе по 2 научным грантам РФФИ и 1 гранту РНФ.

По теме диссертационного исследования опубликовано 11 статей (10 на русском и 1 на английском языке), из которых 6 статей в российских периодических изданиях, включенных в список ВАК, в том числе 5 статей опубликованы в периодических изданиях, включенных в список Scopus или Web of Science. Основные результаты, составившие содержание работы, докладывались на 6 российских и 2 международных конференциях. Отдельные результаты исследований, полученные в рамках диссертационной работы, отмечены 3 наградами: Диплом победителя в Конкурсе лучших научных работ студентов и аспирантов в области океанологии (Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, 2018 г.); Диплом победителя в Конкурсе лучших научных работ студентов и аспирантов в области океанологии (Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, 2019 г.); Диплом победителя в Конкурсе молодых ученых на лучшую научную работу (Институт космических исследований РАН, 2018 г.).

Диссертация Сандалюка Никиты Валерьевича на тему: «Исследование синоптической изменчивости в динамически активных районах Мирового океана по данным спутниковой альтиметрии и *in situ* наблюдений» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Сандалюк Никита Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.28 – Океанология. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета

Доктор географических наук, ученое звание - профессор по каф. Прикладной экологии, должность - профессор кафедры Гидрологии суши Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет"



Дмитриев Василий Васильевич

Дата 09.04.2021