

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета на диссертацию Сандалюка Никиты Валерьевича «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

Основной целью диссертационной работы Сандалюка Никиты Валерьевича является изучение особенностей мезомасштабной динамики Мирового океана на примере трех регионов с различной динамической активностью: район течения Агульяс, район Лофотенской котловины и Австрало-Антарктический бассейн.

Работа состоит из введения, 7 глав, заключения, библиографического списка из 174 наименований, 63 рисунков и 6 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цели и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая значимость работы, а также изложены методы исследования и положения, выносимые на защиту; приведены публикации (всего 11, из них 5 в журналах, которые входят базы Scopus и Web of Science ResearcherID, остальные - в российских периодических изданиях, включенных в список ВАК, РИНЦ) и показана апробация работы.

В этом разделе работы соискатель, ссылаясь на теоретические работы, главным образом, М.В. Невзлина пытается убедить читателей, что мезомасштабные вихри (МВ) и волны Россби есть проявления одного и того же процесса. Однако, аргументы, которые приводит автор для подтверждения такой интерпретации нельзя назвать, на наш взгляд, убедительными: «...одними и теми же системами гидродинамических уравнений» описываются не только вихри и волны Россби, но и много других процессов в океане и атмосфере. Далее соискатель отмечает, что «...существование мезомасштабных вихрей и волн Россби обусловлено одними и теми же причинами: вращением Земли и ее сферичностью», но, теоретически, мезомасштабные вихри могут генерироваться и существовать на плоской Земле, а волны Россби не могут. То, что «...синоптические вихри иногда обнаруживают некоторые черты волн Россби, а именно: распространение с западной составляющей фазовой скорости и неплохое количественное совпадение пространственно-временных масштабов колебаний с дисперсионными соотношениями, описывающими волны Россби», также нельзя назвать убедительным аргументом. Во многих районах Мирового океана вихри перемещаются с восточной составляющей скорости, а их размеры заметно меньше волн Россби (Каменкович и др., 1982). Нельзя согласиться с автором и в том, что «Для физиков-теоретиков вопрос о том, как называть эти объекты: волны или вихри, которые описываются решениями уравнений Лапласа 2-го рода, не является первостепенным». Идентификация волн и вихрей – это и сегодня первостепенная проблема теоретического описания синоптической изменчивости океанологических полей. На наш взгляд, при описании синоптической изменчивости океанологических полей правильно будет пользоваться определением, данным в монографии Каменковича и др., 1982 «Синоптические вихри в океане», в которой авторы выделяют «...вихри, перемещающиеся вместе с содержащейся в них водой, и более крупные волны Россби, бегущие по воде, не увлекая её за собой».

Ограниченным является тезис автора, что «Мезомасштабная вихревая активность является одним из главных механизмов горизонтального перемешивания». Мезомасштабные вихри оказывают значительное влияние и на вертикальное перемешивание в океане.

Нельзя в полной мере согласиться с тем, что «Результаты представленного диссертационного исследования также могут быть использованы для оценки биологической продуктивности вод, на которую существенное влияние оказывают

мезомасштабные циклонические вихри» (стр.9). В промысловой океанологии давно известно, что на промысловую продуктивность большое влияние оказывают и антициклонические вихри.

В 1-й главе представлен обзор теоретических представлений о мезомасштабной изменчивости океанологических полей, история исследования мезомасштабных вихрей, а также физико-географическая и океанологическая характеристика районов исследования.

К недостаткам 1-й главы следует отнести очень плохое определение волн Россби, данное на 16 стр., которое не даёт никакого представления читателю о волнообразующем механизме этих волн. На стр. 17 представлена известная формула внутреннего радиуса деформации Россби и сделана ссылка только на работу Белоненко и Новоселовой (2019). Создаётся впечатление, что первыми эту формулу вывели именно они.

Во второй главе представлено описание использованных массивов океанологических данных и методов их обработки и анализа. Соискатель использовал самые современные архивы океанологической информации, включающие спутниковые альтиметрические данные, массив «Mesoscale Eddy Trajectory Atlas Product», основанный на алгоритме автоматической идентификации вихрей, разработанный проф. Челтоном (Chelton et al., 2011a), данные буёв ARGO и глайдеров, а также судовые измерения температуры и солёности на разных горизонтах. Использование автором столь разнообразной представительной информации позволило получить много интересных и новых сведений о пространственно-временной структуре и динамике мезомасштабных вихрей в исследуемых районах океана. Сожаление вызывает, что соискатель не провёл верификацию спутниковых альтиметрических данных, путём их сравнения с береговыми измерениями уровня моря, для того чтобы изучить возможности этого архива спутниковой информации, его ограничения и недостатки. Например, для Балтийского моря сравнение статистических характеристик альтиметрических данных массива SLA с мареографными измерениями уровня показало, что использование при обработке альтиметрической информации метода оптимальной интерполяции, отфильтровывает колебания уровня с периодами менее 30 суток (Захарчук и Сухачев, 2018). В качестве замечания следует также указать, что соискатель описал не все использованные в работе методы: нет описания 2D-FFT-спектрального анализа и метода Рандона.

В третьей главе приводятся результаты сравнения линейных и нелинейных эффектов в уравнении сохранения потенциального вихря для четырёх районов Мирового океана на основе данных спутниковой альтиметрии. Соискатель показывает, что во всех районах вклад волн Россби на один-два порядка меньше, чем нелинейных слагаемых, и делает вывод, «что в рассматриваемых регионах влияние линейных волн Россби ничтожно мало». Далее автор заключает: «...эти оценки подтверждают вывод Chelton et al. (2011a) о повсеместном доминировании нелинейных эффектов над линейными в низкочастотной изменчивости уровня. Это означает, что критерий определения степени нелинейности структур путем сравнения максимальной окружной скорости частиц этих неоднородностей и скорости их перемещения является надежным показателем нелинейности». Результаты, продемонстрированные соискателем, как, впрочем, и результаты Chelton et al. (2011a), вступают, на наш взгляд, в противоречия с картиной пространственно-временной изменчивости уровня моря в различных регионах Мирового океана, полученной по данным спутниковой альтиметрии. На зонально-временных разрезах альтиметрических данных в тропической зоне и Южном океане в изменениях уровня моря отчетливо выражена волновая структура колебаний. Ложбины и гребни этих волн очень устойчивы во времени и прослеживаются без существенных изменений иногда до 2- 3 лет (Белоненко и др., 2004). Результаты соискателя противоречат и данным 300 поверхностных свободно дрейфующих буёв в Южном океане (Корт, 1981; Daniault et al, 1985). Возмущения течений синоптического масштаба проявились, в основном, в волнообразных изгибах траекторий поплавок с длиной волны 200-400 км и периодами 10-24 суток (Корт, 1981). В. Г. Корт предположил, что эти возмущения могут быть

связаны с волнами Россби. Петлеобразные участки траекторий, которые В. Г. Корт отнес к проявлению синоптических вихрей, наблюдались всего около 20 раз и были приурочены в основном к 3 локальным регионам Южного океана: район моря Скотия, к северо-западу от подводного хребта Кергелен и к югу от Новой Зеландии и островов Баллени. Эти противоречия могут быть связаны с методической ошибкой при оценке параметра нелинейности. В уклонах уровня моря, по которым оценивались геострофические течения, содержатся вклады не только мезомасштабных вихрей и различных видов низкочастотных волн, но также и других процессов (например: ветровых и бароградиентных течений, сезонных колебаний уровня). Соискатель, оценивая течения по альтиметрическим уклонам уровня моря, считает, что эти течения связаны только с мезомасштабными вихрями и волнами Россби. Любая волна характеризуется частотой и волновым числом. Поэтому, применительно к низкочастотным волнам, все параметры при расчете критериев нелинейности нужно оценивать на частотах энергонесущих максимумов по результатам спектрального анализа океанологических данных. Понятно, что тогда во многих случаях значение отношения U/c будет меньше 1. Кроме того, в уравнении 2 при сравнении линейных и нелинейных эффектов учитывается вклад только бездивергентных волн Россби и неучитываются вклады других видов низкочастотных волн, например, - топографических волн, сдвиговых волн, частным случаем которых являются струйные волны. Эти виды волновых движений могут вносить заметный вклад в наблюдающиеся с помощью альтиметрии изменения уровня моря (Белоненко, Захарчук, Фукс, 2004). И, сам соискатель, на основании своих результатов и публикаций предыдущих исследователей, высказывает предположение о значительном влиянии подводного рельефа на динамику вихрей (стр. 54).

В главах 4 и 5 проведён комплексный анализ пространственного распределения характеристик мезомасштабных вихрей для района течения Агульяс и Лофотенского бассейна Норвежского моря, исследована трехмерная композитная структура циклонических и антициклонических вихрей в данных регионах океана, а также оценен зональный и меридиональный вихревой транспорт различных характеристик водных масс. Не вызывает сомнения, что представленные результаты обладают новизной и значимостью. Они важны для понимания роли синоптических вихрей в перераспределении тепла и свойств в Мировом океане в диапазоне сезонных и климатических временных масштабов. В качестве недостатка проведённого анализа можно указать оценивание всех характеристик мезомасштабных вихрей только в стационарном приближении. Учитывая, что процесс вихреобразования и эволюции вихрей является ярко выраженным нестационарным случайным процессом, все их характеристики также нужно оценивать с учетом нестационарности процессов.

При описании рис. 4.11 автор утверждает, что вихрь движется на северо-запад, хотя на самом деле он движется на север-север-восток.

В 6-й главе проведен анализ временной изменчивости характеристик мезомасштабных вихрей в Австрало-Антарктическом бассейне Южного океана. Противоречиво и неубедительно выглядит интерпретация синоптической изменчивости уровня моря в данном районе то, как проявление мезомасштабных вихрей, то, как бароклинных волн Россби, хотя на рисунке 6.2 (стр. 97) на пространственно-временных разрезах в поле аномалий уровня океана по 36° ю. ш., и 45° ю. ш. отчетливо выделяется волновая структура колебаний уровня моря, а эмпирические фазовые скорости низкочастотных волн, оцененные методом Радона, оказались близки к теоретическим фазовым скоростям бароклинных волн Россби. Параметр нелинейности η , применительно к волнам Россби, оценен не корректно.

Несомненным достоинством диссертации является 7-я глава, в которой представлены очень интересные результаты анализа шельфовых волн в Большом Австралийском заливе на основе данных спутниковой альтиметрии. Эти результаты

существенно развивают наши представления о низкочастотной изменчивости уровня моря на южном шельфе Австралии. В качестве замечаний следует заметить неправильное включение береговых захваченных волн в класс градиентно-вихревых волн (стр. 103), так как автор относит к береговым захваченным волнам и бароклинные волны Кельвина, которые относятся к классу гравитационных волн. Методической ошибкой, на наш взгляд, также является оценивание фазовых скоростей шельфовых волн с помощью метода максимальной корреляции. Оценки фазовых скоростей волн, полученные с помощью этого метода на порядок меньше теоретических фазовых скоростей шельфовых волн, рассчитанных по дисперсионному соотношению (6) на стр. 108 и по результатам двухмерного спектрального анализа (стр.109-110).

По тексту работы имеются также незначительные замечания:

1. Стр.5, последний абзац. Не понятен смысл предложения: «вклад линейных и нелинейных процессов в океане в различных широтах...». Вклад во что?
2. Стр.7, описание задач. Лишним является слово «захваченные» применительно к шельфовым волнам.
3. Стр.36, в подписи к рис. 2.3 нет информации о том, что означает выделенный прямоугольник на рис. 2.3а.
4. В диссертации многие рисунки плохо читаются из-за того, что цветные оригиналы этих рисунков представлены в работе черно-белыми копиями.

В целом, приведенные замечания не снижают уровень основных результатов диссертации. Не вызывает сомнения, что диссертация Сандалюка Никиты Валерьевича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задач, имеющих важное значение для развития фундаментальных и прикладных океанологических исследований. Работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

Диссертационная работа Сандалюка Никиты Валерьевича обобщает исследования автора, опубликованные в 11 рецензируемых научных изданиях, которые входят в базы Scopus и Web of Science Core Collection, что свидетельствует о достаточной публикационной активности соискателя.

Диссертация Сандалюка Никиты Валерьевича на тему «Исследование синоптической изменчивости в динамически активных районах Мирового океана по данным спутниковой альтиметрии и *in situ* наблюдений» полностью 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 нарушены.

Председатель диссертационного совета СПбГУ
по специальности 25.00.28 - океанология,
доктор географических наук
профессор, и. о. зав. кафедрой океанологии,
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Санкт-Петербургский
государственный университет»



Захарчук Евгений Александрович

12.04.2021