

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию
Никиты Валерьевича Сандалюка 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.

Диссертационная работа Никиты Валерьевича Сандалюка посвящена исследованию мезомасштабных вихрей, во многом определяющих синоптическую изменчивость в океане. Основным материалом, легшим в основу исследования, являются данные спутниковой альтиметрии и созданные на их основе информационные продукты («Mesoscale Eddy Trajectory Atlas Product»). В несколько меньшей степени используются массивы in situ данных («Hydrography of the Nordic Seas, 2000-2017: A merged product», международный проект «Argo», данные измерений глайдеров Норвежского центра морских данных). В качестве районов исследования выбраны существенно различающиеся по характеристикам мезомасштабной изменчивости Лофотенская котловина, течение Агульяс и северная часть Австрало-Антарктического бассейна.

Актуальность исследования не вызывает сомнений. В работе использованы данные спутниковой альтиметрии. На сегодняшний день это, по-видимому, самый богатый массив высокоточных данных об уровне Мирового океана. Массив продолжает пополняться и имеет хорошие перспективы по росту точности измерений (пример, миссия SARAL/AltiKa) а, главное, по возможностям своего применения к различным задачам изучения океана. Представленная работа проводит сравнение особенностей динамики мезомасштабных вихрей в существенно различающихся между собой районах Мирового океана. Такое сравнение позволяет разработать методики работы с данными, которые могут быть использованы как для региональных исследований, так и для построения глобальной картины распространения мезомасштабных вихрей и оценки их влияния на климат.

Научная новизна работы определяется новыми результатами, прежде всего, конкретными оценками параметров мезомасштабных вихрей для различных регионов. Важно, что такие оценки как соотношение времени жизни, характерных скоростей (перемещения и орбитальных), хорошо обеспечены количеством данных и, таким образом, могут быть использованы в дальнейшем как референтные характеристики. Новыми представляются данные о различных механизмах генерации вихрей в различных областях течения Агульяс. Методика восстановления трехмерной структуры синоптических течений с использованием различных типов данных в настоящий момент не имеет достойных аналогов. Развитие этого подхода имеет хорошую перспективу. Исследования в Австрало-Антарктическом бассейне позволили зафиксировать ряд особенностей динамики шельфовых волн. Подобных работ в мире крайне мало, что

определяется, в значительной степени относительно слабой разработкой теории краевых волн в океане.

Теоретическая и практическая значимость. Соискатель продемонстрировал широкие возможности использования спутниковой альтиметрии для исследования динамики вихрей в различных условиях. Показано, что взаимодействие вихрей с крупномасштабным течением может существенно влиять на их динамику, приводя, в определенных случаях к захвату вихрей течением (течение Агульяс). Для района Лофотенской котловины получены оценки переноса тепла и соли, что представляет огромный практический интерес для многих областей морской деятельности, включая рыболовство. Для развития теории вихревых движений в океане большой интерес представляют оценки характеристик мезомасштабных вихрей, что может быть эффективно использовано при развитии глобальных и региональных вихреразрешающих моделей динамики океана.

Достоверность результатов обеспечивается использованием авторитетных источников данных и сравнением результатов с ранее проведенными исследованиями. Значительный объем данных позволяет во многих случаях получить статистически достоверные результаты.

Апробация результатов была проведена на российских и международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 11 статей, из которых 5 индексируются в базах Scopus и Web of Science. Личные встречи и беседы с автором не оставляют сомнений в его определяющем личном вкладе в выполненные исследования.

Структура работы не кажется оппоненту оптимальной. Среднего размера диссертация разбита на 9 разделов (Введение, Заключение и 7 глав). Общие сведения об исследуемых районах, материалы и методы работы с данными выделены в отдельные главы, основные же результаты представлены отдельно по каждому району исследования. На взгляд оппонента, такое построение работы заметно затрудняет чтение диссертации. Более логичным было бы описание региона и методов, использованных для исследования в одном разделе. В остальном автор профессионально справляется с работой. Работа содержит большое количество рисунков, в списке литературы 174 названия, соответствующие ссылки уместны.

Во **Введении** приводятся общие сведения о работе, формулируются основные результаты и положения, выносимые на защиту.

Глава 1 представляет «Основные определения и концепции» и описание регионов, для которых были получены основные результаты работы. Первый раздел главы правильнее определить как краткий обзор проблематики с включениями элементов теории волн Россби. Последняя преподносится на качественном уровне, математическая часть практически не представлена, что, по-видимому, оправдано для работ по географическим наукам. Описание районов исследований, как отмечалось выше, оторвано от основного изложения, что затрудняет в дальнейшем чтение соответствующих разделов. В целом, глава дает представление о задачах, рассматриваемых в диссертации.

Глава 2 посвящена использованным в работе подходам и данным, на которых строится исследование. Помимо общего описания, в этой главе приводятся подробные сведения об

оригинальном методе трехмерных реконструкций полей гидрофизических параметров. Метод использовался для Лофотенской котловины и течения Агульяс, но при выбранной структуре работы его изложение, к сожалению, оторвано от соответствующих разделов. Включение описания метода в «региональные» разделы и даже повторение этого описания для каждого региона могло бы заметно облегчить восприятие работы, что важно, поскольку разработка и использование этого метода являются, на взгляд оппонента, главными результатами работы.

Глава 3 представляет результаты сравнения линейных и нелинейных членов в уравнении потенциального вихря с вынуждающей силой, которым, как предполагается, описывается динамика наблюдаемых вихрей. Исследование строится на большом массиве данных для трех районов Мирового океана. Показано, что вихри существенно нелинейны. На взгляд оппонента, подобное сравнение содержит существенное внутреннее противоречие. Скорости в вихрях не измеряются напрямую, но оцениваются по геострофическим соотношениям. Сильная же нелинейность предполагает сильные же отклонения от геострофического приближения. На конечный результат это противоречие вряд ли существенно повлияет, однако, автору следовало бы сопроводить исследование соответствующими комментариями.

Глава 4 хорошо характеризует автора как специалиста-географа, способного построить единую картину явления по данным, полученным различными методами в разных физико-географических условиях. Эта картина дополнена оценками характерных параметров вихревой активности и важным выводом о различиях динамики вихрей в основном течении Агульяс и его части, огибающей плато Агульяс (Возвратного течения). В конце главы построены трехмерные реконструкции вихревых структур с использованием контактных измерений.

Достоинства предлагаемого метода трехмерных реконструкций вихрей в полной мере представлены в **Главе 5**. В этой главе рассмотрены не только особенности получения этих реконструкций, но и широкий круг задач, в которых они могут эффективно использоваться. В частности, автором получены оценки интегрального переноса тепла и соли в районе Лофотенской котловины.

Глава 6 посвящена исследованию мезомасштабных вихрей в Австрало-Антарктическом регионе. Во многом методы и результаты следуют таковым Главы 4 для течения Агульяс. В качестве компенсации за относительно малое количество данных автор предлагает оригинальные оценки временной изменчивости параметров вихрей.

Глава 7 завершает представление основных результатов исследованием колебаний уровня на южном шельфе Австралии. Теория краевых волн разработана относительно слабо, что, очевидно, затрудняет создание эффективных методов дистанционного их обнаружения. Автор довольствуется известной математической аналогией длинных краевых волн и волн Россби, когда изменчивость рельефа выполняет роль β -эффекта и пытается оценить на этой основе дисперсионные характеристики наблюдаемых краевых волн. С помощью гармонического и вэйвлетного анализа удастся оценить характерные временные масштабы движений и сопоставить их с теоретическими зависимостями. Сопоставление выглядит не очень убедительным, что объективно связано с особенностями исследуемого

явления. В этой части автор сделал все от него зависящее, чтобы исследовать важные физические процессы и наметить многообещающую перспективу дальнейшей работы.

В **Заключении** сформулированы выводы работы и представлено краткое их обсуждение.

Работа не лишена досадных недостатков, часть которых была отмечена выше.

Ошибки оформления

1. Цветные рис.2.1, 2.2, 4.1 в представленной оппоненту версии даны в черно-белом варианте;
2. Рис.3.6 отсутствует (подпись к рисунку сохранена);
3. Нумерация формул ведется в каждой главе отдельно, что затрудняет ссылки на формулы в других главах;
4. Пропущенные символы и опечатки. Пример, стр.74 после ур-я (2). Не указано значение плотности воды.

Терминологические и другие текстовые неточности

1. Строка 2, абзац 3, стр.4. «Решениями уравнений Лапласа 2-го рода». По-видимому, речь идет о решениях 2-го рода приливных уравнений Лапласа;
2. Стр.16, строка 7 снизу. «Свободные волны Россби в отсутствии сильных струйных течений и выраженных топографических уклонов всегда распространяются на запад». Формулировка представляется неточной. На запад направлена фазовая скорость. Групповая же, определяющая перенос энергии, подобных ограничений не имеет;
3. Стр.40, строка 13 снизу. «... подавляющее большинство вихрей не линейны». «Нелинейны» пишется слитно. Все явления нелинейны, поэтому формулировка представляется неточной. Речь должна идти о степени нелинейности и ее количественной оценке;
4. Уравнение (2) в Главе 3 неправильно называть законом сохранения;
5. Рис.4.5, 4.6. Исключительно важные распределения вихрей по продолжительности их жизни и пройденным расстояниям смотрелись бы лучше в одинаковых шкалах. Это значительно облегчило бы сравнение и сделало результат более убедительным;
6. Стр.65, строка 5. Аномалии солёности даны в непривычной размерности г/кг. Более привычным выглядело бы промилле;
7. Стр.77, строка 2 снизу. «... оказывают более чем 90% вклад». Вклад вносится, но вряд ли оказывается;
8. Стр.93, строка 6 снизу. Вместо заимствованного «паттерн» уместно было бы использовать более привычный термин, например, «поведение»;
9. Стр.108 после ур-я 5. Размерности l в уравнении и в пояснении к нему не согласуются. В этом же абзаце ниже не указаны размерности параметра β и отношения f/l .

Отмеченные недостатки не снижают уже озвученной высокой оценки работы. Автор в достаточной степени овладел современными методами работы со спутниковыми данными и другими видами данных измерений контактными методами. Автору удалось сформулировать цели работы, отвечающие современному уровню исследований

мезомасштабной изменчивости океана и предложить убедительные ответы на поставленные вопросы.

Диссертация Никиты Валерьевича Сандалюка 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 Никита Валерьевич Сандалюк 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
Д.ф.м.н., гл.н.с, рук. Лаборатории
нелинейных волновых процессов
ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36
+7(499) 124-75-65; e-mail: badulin.si@ocean.ru;
<http://www.ocean.ru>

Бадулин Сергей Ильич

12 апреля 2021г., Москва



Зимбарова
С.И.