

## ОТЗЫВ

на диссертацию Рыжова Евгения Андреевича  
«Динамика квази-геострофических вихрей при наличии сдвиговых потоков  
и топографических преград»  
представленной на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук  
по специальности 25 00 28 Океанология

Диссертация посвящена актуальной проблеме современной океанологии - исследованию регулярной и нерегулярной динамики вихревых структур в океане. Процессы перемешивания в самих вихревых образованиях и перенос свойств вместе с ними в настоящее время привлекают большое внимание, поскольку все новые данные дистанционных и контактных измерений подтверждают самое существенное влияние вихрей на крупно-, мезо- и суб-мезомасштабную динамику вод Мирового океана.

Методика исследования основана на комбинации аналитических и численных методов решения динамических уравнений эволюции вихревых структур. Наряду с детальным рассмотрением динамики конкретных жидких частиц в поле вихревого образования в исследовании рассматриваются важные для практических применений задачи взаимодействия вихрей между собой, с внешними преградами и фоновыми течениями.

Результаты работы представляют значительный теоретический и практический интерес для океанологических исследований. С теоретической точки зрения, важным вкладом автора является демонстрация методов исследования сложных задач о взаимодействии вихревых структур и изменчивости динамики вод при наличии сдвиговых потоков и топографических преград. Применяемые автором методы описания переноса консервативной примеси могут также быть использованы для исследования лагранжевого транспорта в полях скорости, полученных с помощью спутниковой альтиметрии, и океанических моделей высокого разрешения.

Практическая значимость полученных результатов обеспечивается возможностью их использования в задачах выявления мезо- и суб-мезомасштабной динамики вод для цели охраны окружающей среды, в промысловой океанологии при чрезвычайных ситуациях. Полученные результаты значительно расширяют общее понимание процессов крупномасштабного перемешивания в океане как интегрального результата действия множественных разномасштабных вихревых образований. Результаты могут быть использованы на практике для верификации и совершенствования как региональных, так и глобальных численных моделей океанской циркуляции, для получения более точных оценок потоков вещества, энергии, импульса в океане.

Диссертация состоит из краткого Введения, 6 глав, Заключения и Списка литературы, общим объемом 222 страниц, включая 90 рисунков. Обширный список литературы (38 страниц) включает 597 наименований.

Во Введении обосновывается методология исследования, формулируются цели работы, ее новизна, актуальность, теоретическая и практическая значимость. Приводятся защищаемые положения и информация о публикациях и докладах соискателя, посвященных результатам исследования.

В Главе 1 проведен сжатый, но очень конкретный и достаточно полный обзор современных публикаций по теме исследования. Указывается на перспективность применения лагранжевых методов исследования океанических течений при наличии современных вычислительных возможностей и значительно возросшего объема данных наблюдений, в том числе спутниковых и дрейфтерных. Анализируется роль современных вихререзающих моделей циркуляции, обсуждаются результаты применения различными авторами динамических моделей изолированных вихрей, моделей переноса и перемешивания жидких частиц и ряда других.

Главы 2-6 посвящены изложению решений конкретных задач исследованию горизонтального и вертикального переноса жидких частиц в

моделях топографических вихрей (Глава 2), взаимодействия монополярных и дипольных вихрей с изолированной подводной возвышенностью (Глава 3), описанию динамики вихрей в моделях с границами (Глава 4) и динамики двух точечных вихрей и жидких частиц в их окрестности в сдвиговом потоке (Глава 5), анализу решений модели эллиптических и эллипсоидальных вихрей в баротропном и линейно-стратифицированном бароклинном деформационных потоках (Глава 6). Материал хорошо структурирован логично и подробно изложен. Каждая из глав основана на 2-8 публикациях в высокорейтинговых журналах, что говорит о высоком профессионализме автора и глубокой проработке каждого из полученных результатов. Соответственно Главам, сформулированы и Защищаемые положения, таким образом, каждое из них опирается на широко опубликованные результаты исследований. В целом, автором опубликовано 34 статьи по теме диссертации, в том числе в рецензируемых международных журналах с высоким импакт-фактором (например, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* (импакт-фактор 4.27), *Physics of Fluids* (импакт-фактор 2.8), *Chaos* (2.79), *Physics Letters A* (2.2) и другие). Публикация от 2 до 6 статей ежегодно в течение 9 лет является неоспоримым доказательством и высокого профессионального уровня соискателя и востребованности результатов данного исследования.

Изучение топографических вихрей над подводными возвышенностями различной формы проведено в Главе 2 не только в традиционном для океанологии квази-геострофическом приближении, но и с учетом вертикальных скоростей движения жидких частиц. Решая задачу на собственные значения для системы уравнений Гельмгольца, автор применяет метод инвариантного погружения для нахождения численного решения, что позволяет получить трехмерные траектории движения частиц в топографическом вихре. Глава 3 посвящена вопросам взаимодействия монополярных и дипольных вихрей с изолированной подводной возвышенностью. Автору удалось исследовать особенности переноса пассивных жидких частиц, связанные с взаимодействием вихря топографической преграды и внешнего потока. Рассматривается

регулярная и нерегулярная динамика свободных вихрей вихревой пары, двухслойного вихря при их взаимодействии с топографической преградой. Автором показано, что и баротропная и бароклинная движущиеся вихревые структуры (вихревые диполи) при взаимодействии с топографической преградой в неограниченной жидкости без фоновых потоков могут демонстрировать два принципиально различных типа движения. Глава 4 содержит важные новые результаты по влиянию границ на динамику вихревых образований. Автором впервые рассмотрен вопрос о влиянии криволинейных границ на динамику вихрей, что важно для приложений к реальным прибрежным акваториям, практически всегда имеющим сложные береговые линии. Детально изучена регулярная и нерегулярная динамика точечного вихря в переменном встречном потоке.

В Главе 5 автор ещё более усложняет задачу, изучая влияние неоднородного сдвигового потока на взаимодействие и эволюцию пары сингулярных вихрей. Задача успешно решается автором в баротропной и бароклинной двухслойной и трехслойной постановках. Получены два типа траекторий центров завихренностей пары вихрей. Результаты обобщены на случай произвольного количества вихрей и слоев, что является практически важным. Для двух точечных вихрей произвольных интенсивностей в постоянном и переменном деформационном потоке получены фазовые портреты системы, определены особые точки, вычислены частоты вращения вихрей, исследована возможная параметрическая неустойчивость динамики вихрей в окрестности эллиптических особых точек. Исследовано движение жидких частиц в поле вихря при различных комбинациях внешних условий. Рассмотрен интересный феномен – пересоединение сепаратрис на фазовых портретах движения жидких частиц в вихре.

Модели эллиптических и эллипсоидальных вихрей в баротропном и линейно-стратифицированном бароклинном деформационных потоках рассмотрены в Главе 6. Подробно исследуется относительный вклад диффузионных процессов в перемешивание жидких частиц, оценивается

дисперсия частиц при добавлении к вращению в вихре диффузионных процессов. Автору удалось убедительно доказать, что влияние вертикальной компоненты диффузии при вихревых движениях сравнимо с влиянием горизонтальной компоненты. Этот результат представляется одним из самых важных выводов диссертации. Наряду с решением конкретных задач, автором обсуждаются особенности, преимущества и недостатки применения различных моделей вихрей.

В Заключение суммированы основные результаты работы.

Высокий научный уровень диссертационной работы сомнений не вызывает, и принципиальных замечаний по основному содержанию исследования и его результатам у меня не имеется. Комментарии, приведенные ниже, большей частью могут рассматриваться как пожелания, стилистические или редакторские замечания, не влияющие на общую положительную оценку.

- 1) Обсуждая широкий спектр задач динамики вихрей, автор не анализирует в достаточной мере область применения полученных результатов в условиях реальной геофизической гидродинамики, не указывает ограничений на приложение к течениям именно в океане, крайне редко иллюстрирует их примерами из натурных наблюдений. Понятно, что поиск объяснения наблюдаемым в океане эффектам – это скорее роль наблюдателя, но доступное объяснение области и границ применимости теории – это все же ответственность теоретика.
- 2) В литературе имеются многочисленные сведения (вплоть до статистических) о наблюдении в морях и океанах вихревых структур различного происхождения, масштабов и типов. В случае оформления представленного исследования в виде монографии (что было бы очень полезно, особенно учитывая, что значительная часть результатов опубликована на английском языке), представляется уместным включить в обзор анализ типичных океанографических характеристик

наблюдаемых структур (диаметры тип, время жизни, скорости перемещения и т.д.)

- 3) Поскольку работа имеет физическую направленность, термин «самодвижущиеся вихревые структуры» сложно назвать корректным. Автор не дает ему определения, не указывает каких-либо характерных/отличительных черт, критериев, масштабов, причин «самодвижения».
- 4) Имеется ряд стилистических замечаний к тексту Автореферата. Так Цели и Задачи исследования сформулированы как процесс («Исследование...», «Анализ...», «Определение...»), что не соответствует смыслу этих терминов. Новизна исследования совпадает с Защищаемыми Положениями (вплоть до опечаток), хотя это существенно разные аспекты работы. В тексте Автореферата автор не приводит ссылок ни на какие-либо публикации, что выглядит странно, особенно при обосновании актуальности темы исследования, новизны и практической значимости работы.
- 5) Есть также целый ряд замечаний редакционного характера, связанных, по-видимому, с необходимостью перевода с английского языка (например, стр. 22 Автореферата «Рассматривая возмущенную ситуацию, то есть амплитуда колебаний внешнего потока не равна нулю, движения вихря может становиться хаотическим»).

Таким образом, диссертационная работа Е.А. Рыжова является глубоким и важным научным исследованием, находящимся на передовых позициях современной океанологии. Все результаты диссертации опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Е.А. Рыжова полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание

ученой степени доктора физико-математических наук а её автор, Е.А. Рыжов заслуживает присуждения искомой степени по специальности 25.00.28 – океанология.

Доктор физико-математических наук  
заведующая лабораторией физики моря Атлантического отделения  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института океанологии им. П.П. Ширшова  
Российской академии наук (АО ИО РАН)

Чубаренко Ирина Петровна  
7 августа 2019 г.

Я, Чубаренко Ирина Петровна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

**Контактные данные:** тел. +7 906 239 15 66, e-mail: [irina\\_chubarenko@mail.ru](mailto:irina_chubarenko@mail.ru)  
**Специальность, по которой защищена диссертация:** 25.00.28 Океанология

**Адрес места работы:** 236022, г. Калининград, пр-т Мира, д. 1  
**Организация, структурное подразделение:** Атлантическое отделение  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института  
океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (АО ИО РАН),  
лаборатория физики моря  
**Тел.:** рабочий 8(4012) 451574; e-mail: [ioran@atlantic-ocean.ru](mailto:ioran@atlantic-ocean.ru)

Подпись сотрудника Атлантического отделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (АО ИО РАН) Чубаренко И.П.  
*удостоверяю*

Зам. директора по научной работе Атлантического отделения  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Института океанологии  
им. П.П. Ширшова Российской академии наук (АО ИО РАН)

кандидат геолого-минералогических наук  
Банширова Лейла Джанировна

12 августа 2019 г.

