

**ОТЗЫВ официального оппонента  
на (о) диссертацию(и) на соискание ученой степени  
на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук Егоровой Виктории  
Михайловны  
на тему: «Вихревая динамика над неосесимметричной топографией дна  
во вращающейся стратифицированной жидкости (в приложении к  
Кипрскому вихрю)»  
по специальности 1.6.17 – Океанология**

Работа Егоровой В.М. посвящена **актуальной теме** – исследованию вихревой динамики в морской среде с учетом неосесимметричной топографии на примере Кипрского вихря. Несмотря на многочисленные исследования, механизмы генерации Кипрского вихря все еще не до конца определены. В данной работе сосуществование антициклонического Кипрского вихря с циклоном меньшего масштаба трактуется как топографическая квазидипольная вихревая структура, состоящая из антициклонического вихря над горой Эратосфена, и циклонического вихря в потоке над крупной впадиной. Аналитическая теория топографических вихрей достаточно хорошо развита для осесимметричных форм неоднородностей донной топографии. Изучение особенностей формирования Кипрской вихревой системы над структурой «впадина-гора» показало, что требуется обобщение теории на несимметричные случаи. Актуальность изучения Кипрского вихря актуально в связи с отсутствием аналогичных работ с учетом данной специфики

**Обоснованность положений, выносимых на защиту, научная новизна и значимость работы** заключается в том, что в ней впервые дано теоретическое обоснование природы формирования и сосуществования антициклонического Кипрского вихря и циклона как топографической квазидипольной вихревой структуры. Обоснование основывается на применении теории топографических вихрей, адаптированной для решения задач с неосесимметричной формой неоднородности рельефа дна, что представляет теоретическую значимость. Понимание взаимодействия Кипрской системы со свободными вихрями, аккумулярующими пятна

примеси, и знание о характере эволюции которых представляет **практическую значимость.**

Исследования основаны на применении фундаментальных законов гидродинамики при анализе как аналитических, так и численных моделей, использующих натурные и экспериментальные данные по океанографическим параметрам и батиметрии Левантийского бассейна. Для уточнения и подтверждения эффективности моделей привлекаются результаты лабораторных экспериментов, а также выводы о воздействии неоднородной топографии на динамику вращающейся стратифицированной жидкости, полученные другими исследователями. Все это обеспечивает **достоверность результатов.**

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем – 101 стр.

Автореферат в полной мере отражает материалы и основное содержание диссертации.

В разделе **Введение** обоснована актуальность исследования, сформулированы цель и задачи, представлена информация о степени изученности объекта и предмета исследования. Также указаны методы исследования, выделена научная новизна и значимость, представлены данные об апробации работы, вкладе автора, а также об общей структуре и объеме диссертации.

**Первая глава** посвящена аналитическому решению задачи о Кипрском вихре. Рассматривается природа топографического вихря в терминах закона сохранения потенциального вихря. Дается аналитическое описание топографических вихрей, а также выводится аналитическое решение задачи о Кипрском вихре. Рассматриваются вертикальные движения над неосесимметричной топографией дна, проводится температурный анализ.

**Во второй главе** рассматриваются реализации численного моделирования вихревой динамики Кипрской системы. Дается теоретическое описание численного метода контурной динамики и с помощью этого метода

выводится численное решение задачи о Кипрском вихре в однородном океане. Рассматривается трехслойная модель океана и стратификация. Анализируются результаты численных экспериментов с постоянными скоростями морских течений, с меридионально-широтными направлениями фонового потока и с меридиональным сдвигом скорости. Учитывается влияние свободных вихрей на топографические вихревые структуры.

**Третья глава** целиком посвящена лабораторным экспериментам. Дано описание установки и ход эксперимента. Представлены результаты лабораторного моделирования. Проводится валидация результатов и их сравнительный анализ.

В **Заключении** представлены полученные в результате исследования основные выводы.

#### **Замечания по диссертационной работе**

- 1) Стр. 4. Цитата: «Современные исследования океана при помощи буюв нейтральной плавучести показали, что водный поток ниже главного термоклина значительно меняется в пространстве и во времени, что противоречит ранним представлениям о неподвижности водных масс в глубинных слоях океана (Козлов 1983а; Зырянов 1985)». – Слишком старые ссылки, чтобы утверждать, что это «современные исследования». Необходимо было добавить более свежие статьи.
- 2) Там же. Цитата: «Сейчас известно, что немалый вклад в эти изменения вносит рельеф морского дна». Слово «сейчас» относится не к сегодняшнему дню, а к прошлому периоду – старым работам В.Ф. Козлова и В.Н. Зырянова.
- 3) Стр. 8 и везде ниже, например, стр. 23. Цитата: «Вдоль северной периферии Кипрского вихря фиксируется восточное струйное течение». – Подобно тому, как это делается в работах В.Н. Зырянова, следовало бы указать, что скорость течения  $> 0$ .
- 4) Стр. 17. Уравнение (1.1.1) – не описана система координат, в которой записано это уравнение.

- 5) Там же. Судя по тексту ниже, автор придерживается монографии В.Н. Зырянова “Теория неустановившихся течений”, 1985 г. (см. раздел 1.4 стр. 17) или монографии В.Н. Зырянова «Топографические вихри в динамике морских течений», 1995 г. (см. параграф 2, стр. 50). В них вертикальная ось OZ направлена вниз. Зачем? В любом случае, нужно было сразу предупредить читателя и объяснить: зачем используется левая система координат, так как в подавляющем большинстве работ, включая зарубежные публикации, используется правая система координат.
- 6) Необходимо было дать оценки бароклинного радиуса деформации, чтобы обосновать применимость квазигеострофической теории.
- 7) Стр. 18, формула (1.1.4). Нет описания оператора  $\Delta_{x,y}$ .
- 8) Стр. 19. Формула  $z = h(x, y)$  означает, что ось OZ направлена вниз. Однако на стр. 18 и везде выражение для частоты Вэйсяля-Брента  $N(z) = \sqrt{-\frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dz}}$  написано так, как будто ось OZ направлена вверх.
- 9) Стр. 21. Цитата: «Применим ко всем частям уравнения прямое преобразование Фурье»... Не указано, на каком классе функций делается Фурье преобразование. Это классика? Или на пространстве обобщённых функций? Какая гладкость топографии?
- 10) Стр. 22. Цитата: «Для осесимметричного возвышения морского дна  $h(x, y) = \begin{cases} -h(r), & r < R \\ 0, & r \geq R \end{cases}$  ( $R$  — радиус основания возвышения, знак «минус» перед  $h$  отвечает возвышенности, вертикальная ось OZ направлена вниз) имеем следующее»... Значит за ноль берется свободная поверхность, ось вниз и еще  $h$  с минусом. Как  $h$  может быть отрицательна?
- 11) Там же. Как это согласуется с — далее цитата: «Проанализируем процесс образования топографического вихря над одиночной подводной

горой, имеющей форму прямого кругового цилиндра радиуса  $R$  и высоты  $h < 0$ :  $h(x, y) = \begin{cases} h(r), & r < R \\ 0, & r \geq R \end{cases}$ . Какая-то путаница?

- 12) Стр. 23. Течение стратифицировано, течение баротропно, также рассматриваются двухслойные модели, однако везде поле скорости постоянно по вертикали (см. формулу (1.27)). Как такое может быть? Как так может быть? Желательно, задать сдвиг поля скорости между слоями. Такая постановка является более распространенной.
- 13) Стр. 24. Формула (1.2.8). Появляется функция Бесселя  $K_0(\sigma_k r)$ , но ее описание отсутствует.
- 14) Стр. 23-24. Решения, полученные внутри  $\Psi_{r < R}(\rho, \varphi, z)$  и вне топографии  $\Psi_{r > R}(\rho, \varphi, z)$  сшиваются? В тексте об этом ничего не сказано. Если да, то каким образом?
- 15) Стр. 24. Рисунок 3 не понятен, так как ничего не сказано о масштабах, нет ни слова про обезразмеривание. Не понятно, в каких единицах дано представление на рисунке 3.
- 16) Стр. 27. Рисунок 6 очень похож на Рисунок 2 из работы Sutyrin et al. (2021): Phys. Fluids 33, 031705 (2021); doi: 10.1063/5.0040298. Необходимо дать комментарий, так как разворот диполя – хорошо известный факт, и данная тема развивается многими авторами, включая авторов данной работы и тех, на которых они ссылаются. У данных авторов довольно много работ по диполям, но их нет в списке литературы диссертации.
- 17) Ссылки в списке литературы даны не единообразно, см., например, стр. 90.
- 18) Сосуществование антициклонического Кипрского вихря с циклоном меньшего масштаба трактуется как топографическая квазидипольная вихревая структура, состоящая из антициклонического вихря над горой Эратосфена и циклонического вихря в потоке над крупной впадиной. При этом автор утверждает, что

«Антициклонический Кипрский вихрь обладает высокой устойчивостью» (Положение 3). Таким образом, в работе устойчивый антициклон существует над горой, а циклон – над крупной впадиной. В то же время это противоречит результатам работы Benilov, E. S. (2005). *Stability of a Two-Layer Quasigeostrophic Vortex over Axisymmetric Localized Topography*. *Journal of Physical Oceanography*, 35(1), 123–130. doi:10.1175/jpo-2660.1, где путем численного решения линейной задачи показано, что возвышение дна, т.е. гора, является стабилизирующим фактором для циклона и, наоборот, дестабилизирующим фактором для антициклона, тогда как депрессия дна действует противоположным образом. Также это противоречит результатам, полученным для квазипостоянного антициклонического Лофотенского вихря, устойчивость которого обеспечена тем, что он образуется в Лофотенской впадине (см. Belonenko T.V., Travkin V.S., Koldunov A.V., Volkov D.L. 2021. *Topographic experiments over dynamical processes in the Norwegian Sea*, *Russ. J. Earth. Sci.*, 21, ES1006, doi:10.2205/2020ES000747). В этой работе путем численных экспериментов с помощью гидродинамической модели MIT показано, что если топографическая депрессия отсутствует, то и квазипостоянный Лофотенский антициклон также отсутствует.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.17 – Океанология (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой

степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Егорова Виктория Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 – Океанология

Официальный оппонент:

Профессор кафедры океанологии СПбГУ, доктор географических наук, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Белоненко Татьяна Васильевна

11 марта 2024 г.

Контактные данные:

тел.: 7(812)3289709, e-mail: t.v.belonenko@spbu.ru  
Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:  
25.00.28 – Океанология

Адрес места работы:

199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,  
кафедра океанологии  
Тел.: 7(812)3289709; e-mail: t.v.belonenko@spbu.ru

*Handwritten initials*

*Handwritten signature*

