

Отчет

о выполнении НИР

«Механизмы формирования, структура и свойства устойчивости стационарных состояний вихревых течений в круглом баротропном и двухслойном океане при наличии фоновых факторов различной природы»

Руководитель НИР: Шавлюгин А.И., зав. лабораторией математического моделирования.

Краткое описание решаемых задач и применяемых методов исследования.

В работе аналитически и численно исследуется ряд задач геофизической гидродинамики в рамках моделей баротропного и двухслойного ограниченного (круглого) бассейна. В частности это:

1. Линейный анализ устойчивости осесимметричных вихревых течений с кусочно-постоянным пространственным распределением потенциальной завихренности.
2. Численное моделирование нелинейной эволюции неустойчивых осесимметричных вихревых течений.
3. Исследование нелинейных режимов взаимодействия ансамблей вихревых пятен (ВП), характеризующихся одинаковым постоянным значением потенциальной завихренности.
4. Построение нетривиальных ротационных стационарных состояний областей постоянной потенциальной завихренности в круглом бассейне.
5. Численное исследование устойчивости найденных стационарных состояний.
6. Исследования влияния фоновых течений, обусловленных неоднородностями рельефа дна, β -эффектом, наличием проливов на границах бассейна (а также, различными комбинациями этих факторов) на нелинейную динамику, структуру и устойчивость стационарных состояний однородно завихренных областей в круглом бассейне).

Основным исследовательским инструментом является метод контурной динамики (МКД), позволяющий свести изначально двухмерную проблему к изучению эволюции границ областей потенциальной завихренности, что фактически означает понижение размерности задач на единицу. Благодаря этому МКД (в различных модификациях) уже на протяжении более 30 лет является одним из наиболее результативных инструментов теоретических исследований в гидродинамике и океанологии.

Задачи о построении стационарных состояний решаются при помощи разложения неизвестной формы ВП в ряд Фурье, записи условия стационарности (нормальная к контуру составляющая вектора скорости, во вращающейся с некоторой угловой скоростью системе координат, обращается в ноль) на некотором множестве принадлежащих границе ВП точек и последующем решении системы нелинейных уравнений методом Ньютона.

Полученные научные результаты.

1. Выполнен в общем виде линейный анализ устойчивости осесимметричных вихревых течений в круглом баротропном и двухслойном океане. Полученные соотношения применены для анализа устойчивости течений, имеющих от одной до четырех линий разрыва потенциальной завихренности (вихрь Рэнкина в баротропном океане или в одном из слоев двухслойного океана; компенсированный вихрь Рэнкина или прибрежное струйное течение в баротропном океане; два вихря Рэнкина противоположных знаков завихренности, расположенные в различных слоях двухслойного океана; струйное течение в баротропном океане; два компенсированных вихря Рэнкина или два прибрежных струйных течения, расположенные в различных слоях двухслойного океана).

2. Выполнен ряд численных экспериментов по моделированию нелинейной стадии развития неустойчивости осесимметричных струйных течений в круглом баротропном и двухслойном океане. В обеих моделях обнаружено новое явление – периодический режим эволюции, при котором образовавшиеся в результате распада исходной структуры дипольные вихри, радиально перемещающиеся от центра бассейна, в дальнейшем обмениваются партнерами в береговой зоне и возвращаются в центр бассейна вследствие изменения направления механизма самодвижения диполя.

3. Выполнен ряд численных экспериментов по моделированию взаимодействия ансамблей тождественных ВП в круглом баротропном и двухслойном океане. В случае, когда число взаимодействующих ВП равно двум, исследована эволюция как симметричных (относительно центра бассейна), так и несимметричных начальных конфигураций. Для большего числа взаимодействующих ВП выполнен анализ эволюции только в случае первоначального расположения центров вихрей в вершинах правильного n -угольника, центр симметрии которого совпадает с центром бассейна. Выделены различные режимы нелинейной эволюции ВП, установлена зависимость критического расстояния между центрами ВП, при дальнейшем уменьшении которого происходит слияние вихрей с образованием в центре бассейна общей завихренной области.

4. Разработаны и программно реализованы алгоритмы построения стационарных состояний ансамблей ВП в круглом баротропном и двухслойном океане. Алгоритмы реализованы для различных модельных задач, включая случаи несимметричного расположения ВП, неравенства их размеров и циркуляций, предельных случаев ВП с точками заострения на границе, наличия фоновых течений и т.д. При помощи разработанных программных модулей численно построено несколько десятков семейств новых стационарных состояний ансамблей ВП в круглом баротропном и двухслойном океане.

5. Выполнена часть работ, необходимых для реализации алгоритмов МКД и построения стационарных состояний методами параллельного программирования с использованием

программных и аппаратных средств NVIDIA CUDA. Данные работы являются необходимым условием получения научных результатов мирового уровня в силу того, что существующий программный комплекс, используемый на ПК с процессором типа Intel Core2 Quad CPU, не способен обеспечить соответствующее современному уровню публикаций в данной области пространственное и временное разрешение исследуемых течений.

Оценка актуальности НИР и уровня полученных результатов.

Развиваемая в данной НИР тематика является весьма актуальной, что подтверждается значительным числом публикаций в ведущих научных журналах (преимущественно, зарубежных), посвященных, в частности, применению МКД при исследовании эволюции вихревых течений, задачам построения стационарных форм данных течений, индуцированных распределенными и точечными вихрями, задачам хаотической адвекции пассивной примеси и др. Перечень некоторых из них представлен ниже.

1. V.G. Makarov, Z. Kizner Stability and evolution of uniform-vorticity dipoles // J. Fluid Mech. – 2011. – V. 672. – p. 307-325.

2. V.G. Makarov, S.N. Bulgakov Regimes of near-wall vortex dynamics in potential flow through gaps // Phys. Fluids. – 2008. – V. 20. – p. 1-11.

3. J.N. Reinaud, X. Carton The stability and the nonlinear evolution of quasi-geostrophic hetons // J. Fluid Mech. – 2009. – V. 636. – p. 109-135.

4. T. Radko Long-range interaction and elastic collisions of isolated vortices // J. Fluid Mech. – 2008. – V. 610. – p. 285-310.

5. F. Rizzi, L. Cortelezzi Stirring, stretching and transport generated by a pair of like-signed vortices // J. Fluid Mech. – 2011. – V. 674. – p. 244-280.

6. V.G. Makarov Dipole evolution in rotating two-dimensional flow with bottom friction // Phys. Fluids. – 2012. – V. 24.

7. A. Crosby, E.R. Johnson, P.J. Morrison Deformation of vortex patches by boundaries // Phys. Fluids. – 2013.

8. А.И. Шавлюгин Двухслойная квазигеострофическая модель контурной динамики для круглого бассейна // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 47. - № 5. – с. 669-677.

Результаты, полученные в ходе выполнения НИР соответствуют уровню перечисленных выше работ, а некоторые из них (точные аналитические решения для предельных форм стационарных состояний ВП в круглом баротропном и двухслойном океане, имеющие 5 точек заострения на границе) можно отнести к результатам, превышающим средний международный уровень.

Перечень статей, монографий, патентов, защищенных диссертаций.

В рамках НИР опубликованы или подготовлены и отправлены для публикации следующие работы:

1. Шавлюгин А.И. Исследование вихревых течений в ограниченных водоемах: результаты и перспективы // Территория новых возможностей. Вестник ВГУЭС. – 2012.

2. A.I. Shavlyugin Nonlinear evolution of initially elliptical vortex in the upper layer of two-layer round ocean // Proceedings of 2012 Sino-Russian Academic Conference. – 2012. – Shenyang.

3. Шавлюгин А.И. Универсальный алгоритмический подход в задачах о построении предельных форм стационарных состояний областей постоянной завихренности // Материалы 55-й Всероссийской научной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы естествознания», Владивосток, ТОВМИ им. С.О. Макарова, 2012.

4. Шавлюгин А.И. Двухслойная квазигеострофическая модель контурной динамики для круглого бассейна // Известия РАН. Физика атмосферы и океана

5. Шавлюгин А.И. Стационарные состояния вихревого пятна в верхнем слое круглого двухслойного океана // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. (отправлено в печать).

6. Шавлюгин А.И. Стационарные состояния вихревого пятна в круглой области // Известия РАН. Механика жидкости и газа. (отправлено в печать).

7. Шавлюгин А.И., Шавлюгин А.А. Параллельный алгоритм метода контурной динамики на основе технологии NVIDIA CUDA // Материалы 56-й Всероссийской научной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы естествознания», Владивосток, ТОВМИ им. С.О. Макарова, 2013.

8. Шавлюгин А.И. Исследование взаимодействия одноименных вихревых пятен в круглом бассейне: ротационно симметричные начальные конфигурации // Известия РАН. Механика жидкости и газа. (отправлено в печать).

Оценка выполненных работ и полученных результатов с точки зрения их конкурентоспособности в рамках конкурсов РФФИ, РГНФ, ФЦП; предложения по повышению конкурентоспособности.

В настоящее время уровень конкурентоспособности результатов с точки зрения участия в конкурсах следует определить как невысокий. Это является следствием малого количества публикаций по теме в ведущих журналах. После публикации части уже полученных результатов этот уровень позволит рассчитывать на результативное участие в конкурсах РФФИ. Для результативного участия в конкурсах ФЦП (в перспективе) не хватает масштабов коллектива, прежде всего способных к исследовательской деятельности студентов и аспирантов.