

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Дружинина Олега Александровича
на диссертационную работу **Пережогина Павла Александровича**
«Стохастические и детерминистические подсеточные параметризации для
двумерной турбулентности и их применение в моделях циркуляции океана»
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук
по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ»

Актуальность темы диссертации обусловлена возрастающей востребованностью численных моделей динамики океана с разрешением масштабов вихрей до 100 - 300 км. Современные крупномасштабные модели прогноза плохо описывают динамику мезомасштабных вихрей из-за недостаточного пространственного разрешения и ошибок аппроксимации численных схем. Это приводит к заниженным значениям вихревого переноса тепла, соли и импульса, к ослаблению меридиональных переносов, что существенно искажает прогноз и снижает чувствительность моделей к атмосферным воздействиям. Известные параметризации подсеточной турбулентности, используемые в крупномасштабных моделях, оказываются неприменимыми в моделях мезомасштабного разрешения. В диссертации рассматриваются методы построения подсеточных замыканий для квазидвумерной турбулентности, учитывающие не только диссипацию энтропии, но и обратный каскад кинетической энергии. Методы построения подобных замыканий активно развиваются в последнее десятилетие, однако, многие аспекты остаются недостаточно изученными. Полученные в работе улучшенные подсеточные параметризации реализованы в современной модели циркуляции океана (NEMO).

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, четырех приложений и списка литературы. Полный объем

диссертации составляет 152 страницы, включая 49 рисунков и 9 таблиц. Список литературы содержит 158 наименований.

Несмотря на существенное дробление материала в диссертации (на шесть глав), я все же выделил бы две основные части.

Первая часть (состоящая из первых четырех глав) посвящена исследованию различных аспектов подсеточных параметризаций в идеализированной модели двумерной турбулентности. Исследуется роль численных аппроксимаций адвекции в формировании крупномасштабных когерентных структур и обратного каскада энергии, строятся подсеточные параметризации для моделирования обратного каскада энергии, определяется роль параметризаций в задаче развития баротропной неустойчивости струйного течения.

Во второй части (5я и 6я главы диссертации) параметризации, разработанные для двумерной турбулентности, используются для оптимизации современной, трехмерной модели реального океана (NEMO). Производится настройка параметров модели, позволяющая улучшить воспроизведение вихревой кинетической энергии, вихревого потока тепла, меридиональной опрокидывающей циркуляции, распределение кинетической энергии по временным масштабам и уменьшить ошибки прогноза средних полей.

Научная новизна и достоверность результатов. Основной новый результат в диссертации, на мой взгляд, состоит в том, что удалось построить замыкание для подсеточных турбулентных потоков, верно предсказывающее как прямой каскад энергии от вихрей с волновым числом форсинга к мелкомасштабным вихрям, так и обратный каскад энергии, от масштаба форсинга к крупным вихрям, и использовать это замыкание для оптимизации современной модели океана NEMO. Полученные в работе результаты хорошо апробированы, опубликованы в реферируемых журналах,

в том числе входящие в список ВАК по профилю специальности и в международные базы цитирования Web of Science и Scopus, и доложены на российских и международных конференциях.

Замечания:

1) Общее замечание по диссертации: хотелось бы видеть, как уравнения двумерной турбулентности (1.23), обсуждаемые в первой части (главы 1-4) могут быть получены из уравнений (5.2)-(5.4) трехмерного, реального океана – возможно, это помогло бы определить физическую природу априорно задаваемых коэффициентов диссипации и форсинга модели двумерной турбулентности (см. ниже п.2).

2) Глава 1, раздел 1.3: Неясно, какие пространственно-временные масштабы используются при обезразмеривании переменных в уравнении (1.23) (с. 34, 36). Также неясно, из каких соображений выбраны значения вязкости μ , коэффициента трения α , и волнового числа и плотности энергии форсинга k и ϵ в численном эксперименте, и какое отношение это выбор имеет к натурным значениям этих параметров. Неясно насколько чувствительны результаты главы 1 к вариациям этих параметров. Такой же вопрос к выбору параметров форсинга и трения в гл. 2. (с. 46).

3) Глава 2: Не обсуждается, что подразумевается под термином “DNS” (с.46), т.к. не указан масштаб вязкой диссипации. Видимо предполагается, что при дальнейшем уменьшении размера ячеек сетки результаты (например, спектр на рис. 2.2, 2.3) мало меняются.

4) Основной вывод 4й главы состоит том, что обсуждаемые в 3й главе модели (стохастическая, подобия масштабов, отрицательной вязкости) недостаточно достоверно воспроизводят развитие неустойчивости двумерной струи по результатам модели высокого разрешения. Означает ли это, что

предлагаемые замыкания не могут быть использованы в модели реального океана в присутствии крупномасштабных (зональных) течений?

5) Глава 5: Уравнения (5.2)-(5.4) подразумевают, что поле горизонтальной скорости – дивергентное («сжимаемое»), поскольку уровень свободной поверхности изменяется во времени и в пространстве, и вертикальная компонента скорости определяется условием бездивергентности полной скорости. Неясно, как тогда определяется горизонтальная скорость через функцию тока (5.11), т.к. обычно возможность определения функция тока подразумевает бездивергентность поля скорости.

б) Является ли область счета на рис. 5.1 (и далее) прототипом какой-то области реального океана (по долготе и широте – это Гольфстрим?), или это чисто модельная задача? Чем обусловлена повышенная вихревая активность на рис. 5.3 (широта $30^0 - 40^0$, долгота $-80^0 - -70^0$). Чем обусловлено возникновение зонального течения в этой области (воздействие атмосферы, ветер?).

Замечание по тексту:

С.88, 2й пар., бя стр. и везде по тексту: « ... уравнение **на** эволюцию...» - по-видимому, имеется ввиду «...уравнение, **описывающее** эволюцию ...».

Заключение.

Диссертационная работа Пережогина П.А. представляет собой завершенное научное исследование, содержащее новые подходы к построению и анализу подсеточных параметризаций мезомасштабной вихревой активности в современных моделях океана. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

Считаю, что диссертационная работа «Стохастические и детерминистические подсеточные параметризации для двумерной турбулентности и их применение в моделях циркуляции океана» соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор – Пережогин Павел Александрович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
заведующий лабораторией № 270 ИПФ РАН
Дружинин Олег Александрович

11.05.2021г.

г. И. Новгород, ИПФ РАН, Ульянова 46

Телефон: 831-2-4164760

Адрес электронной почты: druzhinin@ipfran.ru

Подпись Дружинина О.А. заверяю:

Зав. отделом кадров Е.И. В. Бурдечная

13.05.2021г.

