

Отзыв научного руководителя на диссертационную работу Пережогина Павла Александровича «Стохастические и детерминистические подсеточные параметризации для двумерной турбулентности и их применение в моделях циркуляции океана»

Диссертационная работа П.А. Пережогина посвящена разработке новых эффективных методов численного моделирования двумерных и квазидвумерных турбулентных течений. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью проведения длительных расчетов динамики океана при исследованиях климата Земли и его изменений. Вычислительная эффективность достигается за счет применения специализированных параметризаций "подсеточной" турбулентности, предназначенных для улучшения качества воспроизведения статистических характеристик мезомасштабной вихревой динамики в численных моделях океана промежуточного пространственного разрешения. Нелинейная динамика океанических вихрей в средних широтах в диапазоне масштабов 100 – 300 км подчиняется законам геофизической квазидвумерной турбулентности. Эта динамика существенно ослаблена или искажена в современных моделях океана с пространственным разрешением около  $1/4$  градуса, что, в конечном счете, приводит к недостоверному воспроизведению среднеклиматического состояния океана и климатической системы в целом. В данной диссертационной работе на примере расчетов с моделью океана NEMO с идеализированной геометрией расчетной области показано, что применение предложенных параметризаций восстанавливает вихревую динамику и является приемлемой альтернативой повышению пространственного разрешения, требующему существенно больших вычислительных ресурсов. Предложенные в данной работе модели подсеточной двумерной и квазидвумерной турбулентности и написанные соискателем компьютерные программы, реализующие эти модели, будут востребованы при создании перспективных моделей климатической системы, разрабатываемых как в ИВМ РАН, так и в других научных коллективах, специализирующихся на создании моделей климата и прогноза погоды.

Помимо конечной реализации и детальной проверки подсеточных параметризаций в полной модели океана, П.А. Пережогин выполнил ряд предварительных исследований, касающихся фундаментальных свойств двумерной жидкости и методов численного моделирования двумерной турбулентности. В этих работах выявляется влияние численных схем и законов сохранения на динамику дискретных моделей и исследуются различные способы компенсации ошибок аппроксимации при помощи моделирования подсеточных сил. Особое внимание в диссертации уделено моделированию обратного перераспределения кинетической энергии (ОПКЭ). Всесторонне изучены стохастические и детерминистические модели ОПКЭ, как известные из литературы, так и предложенные, либо модифицированные автором диссертации. Упомянутые исследования изложены в первых четырех главах диссертации и имеют самостоятельную научную ценность. Наряду с моделированием мезомасштабных вихрей в океане результаты этих работ могут быть применены для повышения эффективного разрешения атмосферных моделей за счет улучшения воспроизведения динамики квазидвумерной крупномасштабной геофизической турбулентности.

Основные результаты, представленные в диссертации, получены Пережогиним П.А. самостоятельно, являются новыми и соответствуют современному мировому уровню.

Выполнение представленного в диссертации цикла работ потребовало глубокого понимания физики вихревых и волновых процессов в океане, теории турбулентных течений и методов вычислительной гидродинамики. Кроме того, диссертант продемонстрировал способность самостоятельно ставить и проводить сложные вычислительные эксперименты с различными гидродинамическими моделями, модифицировать эти модели, выполнять статистическую обработку больших массивов данных, разрабатывать и использовать алгоритмы вычислений на параллельных вычислительных системах.

Считаю, что выполненная П.А. Пережогиним диссертационная работа «Стохастические и детерминистические подсеточные параметризации для двумерной турбулентности и их применение в моделях циркуляции океана» является законченным исследованием, выполненным на высоком научном уровне, и в полной мере отвечает требованиям положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней. Пережогин Павел Александрович безусловно заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ".

Научный руководитель,

д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник ИВМ РАН

Глазунов А.В.

Подпись Глазунова А.В. заверяю.

Ученый секретарь ИВМ РАН

д.ф.-м.н.



Шутяев В.П.

18.02.2021