ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертационную работу Воротникова Дмитрия Игоревича

«Процессы переноса, обусловленные инерционно-гравитационными внутренними волнами», представленной к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 – океанология

Диссертация Воротникова Дмитрия Игоревича посвящена исследованию процессов вертикального переноса, обусловленного инерционно-гравитационными внутренними волнами в морской среде. Исследования внутренних волн приобрело особую актуальность в последние десятилетия и заняло одно из центральных мест в современной гидрофизике океана. Это связано прежде всего с тем, что внутренние волновые движения стратифицированной жидкости в Мировом океане присутствуют повсеместно, что побудило исследователей к созданию универсального климатического спектра внутренних волн. Известно, что вертикальный обмен в морской среде играет значительную роль в формировании полей концентрации растворенных газов и примесей. Процессы перемешивания осуществляют вентиляцию вод и поддерживают стабильное функционирование экосистемы. Внутренние волны играют важную роль в динамических процессах на шельфе моря, т.к. постоянно присутствуют энергетические источники их порождающие: колебания атмосферного давления, ветровые напряжения на поверхности моря, взаимодействие течений и приливов с неоднородностями рельефа дна, неустойчивость течений.

В диссертации была построена численно-аналитическая модель динамики внутренних инерционно-гравитационных волн для идеальной стратифицированной жидкости в приближении Буссинеска и при наличии двумерного сдвигового течения с учетом вращения Земли в однородном поле тяготения. На основе данной модели рассчитан ряд вкладов в формирование вертикального переноса для различных гидрофизических полей. В частности, численно рассчитаны волновые потоки полей импульса, соли, тепла и массы, вклады в вертикальный перенос тепла и соли за счет наличия стоксова дрейфа. Наличие ненулевых вертикальных волновых потоков обусловлено отличием от  фазового сдвига между колебаниями данных полей и вертикальной скорости. С использованием различных полуфеноменологических моделей произведены оценки турбулентных потоков исследуемых гидрофизических полей. Была выявлена особенность структуры полей температуры, солености и плотности после прохождения внутренней волны, а именно, с использованием численных данных для потоков этих полей Д.И. Воротниковым рассчитана тонкая вертикальная структура данных полей, генерируемая волной, которая имеет необратимый характер в том смысле, что изменившийся под воздействием внутренних волн начальный профиль стратификации более не восстанавливается. В линейном приближении и с использованием методов теории возмущений численно решена краевая задача для внутренних волн. В линейном порядке теории возмущений были построены дисперсионные кривые и рассчитаны декременты затухания, во втором порядке – волновые потоки и скорость стоксова дрейфа.

Уравнение для амплитуды вертикальной скорости имеет комплексные коэффициенты, обусловленные градиентом компоненты скорости течения, поперечной к направлению распространения волны. Поэтому собственная функция и частота волны – комплексные. С использованием натурных данных для 15-минутных внутренних волн Д.И Воротниковым было показано, что декремент затухания (мнимая поправка к частоте) на два порядка меньше частоты волны, т.е. имеет место слабое затухание волны. Для автоматизации численных расчетов на основе данной аналитической модели, Д.И. Воротниковым был разработан набор программ, упрощающих и значительно ускоряющих весь процесс вычислений.

На мой взгляд, полученные в диссертации результаты являются очень интересными. Они были опубликованы в ведущих по своей тематике научных журналах, а также докладывались на международных и российских конференциях. Мне думается, что Д.И. Воротников показал себя способным молодым ученым, умеющим решать сложные задачи в рамках гидродинамики и динамики внутренних волн, в частности. Написанная им программа имеет важное практическое значение и большие перспективы для развития. Так, например, автоматизация аналогичных вычислений в случае учета турбулентной вязкости и диффузии позволила бы решить целый ряд очень интересных и значимых задач.

По моему мнению, содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.17 – океанология и критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Я рекомендую диссертацию Воротникова Дмитрия Игоревича к защите по специальности 1.6.17 –океанология в диссертационном совете МГУ.016.3.

Научный консультант:

Доктор физико-математических наук,

Ведущий научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН» А.А. Слепышев

Подпись Слепышева А.А. заверяю:

Ученый секретарь ФГБУН ФИЦ

«Морской гидрофизический институт РАН» Д.В. Алексеев