

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук

доктор физико-математических наук
Богомолов Леонид Михайлович

« 15 » июля 2023 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской
академии наук на диссертационную работу
Кокоулиной Марии Владимировны
«ОСОБЕННОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛНОВЫХ ДВИЖЕНИЙ В
СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ БАССЕЙНАХ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Актуальность темы диссертационной работы

Нелинейные волновые движения в стратифицированных потоках характеризуются большим разнообразием режимов и форм. В стратифицированном бассейне возможны волновые движения внутри жидкости, обусловленные стратификацией по плотности и течению. Внутренние волны являются важным элементом динамической структуры и экосистем природных водоемов, они могут создавать значительные нагрузки и изгибающие моменты на подводные части гидротехнических сооружений, кроме того, существенно влияют на распределение питательных веществ и наблюдаются в океане практически повсеместно. Одним из механизмов генерации короткопериодных внутренних волн большой амплитуды в океанах и морях является взаимодействие приливных течений с неровностями дна. Короткопериодные внутренние волны — это волны с периодами от нескольких минут до нескольких десятков минут и с пространственными масштабами от нескольких сотен метров до нескольких километров. Их структура определяется солитонами, бризерами и волновыми пакетами, которые активно изучаются в механике жидкости и нелинейной физике.

Структура и содержание работы

Представленная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 194 наименований, изложена на 125 страницах машинописного текста, содержит 82 рисунка и 3 таблицы.

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цели работы, изложена научная новизна и пять положений, выносимых на защиту, а также практическая значимость результатов работы, апробация, личный вклад автора и приведен список публикаций по теме диссертации.

В **первой главе** обсуждаются основные модели нелинейных внутренних волн, которые используются при решении конкретных прикладных задач. Большое внимание уделено оценке различных приближений, позволяющих судить о правомочности использования имеющихся теоретических моделей. В главе дано описание линейной теории внутренних волн, слабонелинейной теории длинных внутренних волн, а также описаны сильно нелинейные модели внутренних волн. Приведены источники данных, которые были использованы в расчетах характеристик нелинейных внутренних волн. Описана разработанная с участием автора информационная онлайн система – пятое защищаемое положение, которая дает возможность провести анализ дисперсионных зависимостей, модового состава, фазовой и групповой скорости внутренних волн, их нелинейных характеристик по имеющимся данным натурных наблюдений гидрологии и волн в океанах и морях.

Во **второй главе** описаны особенности гидрологических процессов в стратифицированных бассейнах, влияющих на характеристики внутренних волн. Проведен объемный статистический анализ термохалинной структуры вод Охотского моря, построены карты распределения индекса стратификации плотности морской воды для летнего и зимнего сезона в Охотском море, из которого следует, что в глубоководных районах относительная разность этой величины от сезона к сезону незначительная, по сравнению с изменением индекса стратификации в мелководных районах (до 500 м). Максимальные значения индекса стратификации в Охотском море достигают более 3000 Дж/м³ как в летний, так и в зимний сезоны в Курильской котловине. Показано, что существует сильная корреляция между скоростью распространения длинных внутренних волн и индексом стратификации плотности морской воды – что является первым защищаемым положением. На этой основе предложен эффективный метод оценки скорости длинных внутренних волн на основе рассчитанного индекса стратификации плотности морской воды. Он может быть применен и для расчета других кинематических и нелинейных характеристик поля внутренних волн в различных акваториях Мирового океана. Также в главе выполнено построение карт пространственного распределения массовой силы плавучести для летнего и зимнего сезонов в Охотском море для основных приливных компонент K_1 и M_2 . Показано, что суточная массовая сила плавучести значительно превышает силу полусуточных приливов практически повсеместно в области исследований.

Третья глава посвящена четвертому защищаемому положению – атласу плотностной стратификации и кинематических параметров внутренних волн для Японского моря, где в качестве исходных для расчета данных использовался климатологический атлас WOA18. Показано, что максимум частоты Вьяйсяля – Брента и глубина его залегания существенно зависят от сезона. Более сильная вертикальная стратификация плотности вод Японского моря ожидаемо наблюдается летом. Соответственно, и кинематические параметры внутренних волн наиболее значительны в летний период. Показано, что линейные параметры, (скорость распространения длинных внутренних волн и коэффициент дисперсии), для которых в Мировом океане сильна зависимость от батиметрии, в Японском море имеют существенный разброс значений на

одних и тех же глубинах и сильнее зависят от сезона. В главе выполнено построение карт возможных типов локализованных внутренних волн низшей моды и предельных амплитуд различных семейств солитонов для условий Японского моря. Типичными являются солитоны отрицательной полярности (с понижением изопикнических поверхностей). «Толстые» солитоны обеих полярностей теоретически могут встречаться в южной части Татарского пролива и в прибрежных зонах, а также в проливе между берегом Южной Кореи и о. Хонсю. Предсказываемые предельные амплитуды широкого солитона зимой оказываются по модулю больше, чем летом.

Четвертая глава посвящена анализу нелинейных волновых процессов в стратифицированных бассейнах, выполненному с использованием экспериментальных результатов. Глава содержит описание обработки временного ряда профилей температуры длиной около 210 часов, полученный в шельфовой зоне Японского моря по данным инструментальных наблюдений в октябре 2011 года. В записи было идентифицировано более 1000 короткопериодных внутренних волн с высотами 1—10 м при общей глубине в точке измерений 42 м. Построены графики повторяемости высот внутренних волн и выполнена оценка вероятности появления интенсивных возмущений. На основе натурных данных, полученных в Балтийском море в районе Готландской впадины рассчитана структура поля внутренних волн, их дисперсионные характеристики, проведена оценка фазовой и групповой скорости. Оценки корреляционных связей записей на верхнем и нижнем пикноклинах, позволяют высказать предположение о лучевом (и, соответственно, существенно многомодовом по вертикали) характере распространения внутренних волн. Проанализированные записи колебаний температуры и солености, пересчитанные в смещения изопикн, показали, что высоты волн не превышали 6–8 метров, как для верхнего, так и для нижнего пикноклина, среднее значение высоты волны составляло 1,5 метра. Рассчитана лучевая структура, вдоль которой распространяется энергия внутренних приливных волн (с учетом неровностей дна) как для модельных, так и реальных условий – третье защищаемое положение. Показано, что распространение внутреннего волнового пакета умеренной амплитуды приводит к значительному увеличению донных скоростей, так что волновой пакет может способствовать взвешиванию осадков и транспорту донных отложений на значительных расстояниях – что является вторым защищаемым положением.

В **заключении** сформулированы основные результаты проведенной работы, которые показывают, что все поставленные в работе задачи были выполнены.

В целом работа изложена грамотным языком, практически отсутствуют грамматические ошибки.

Значимость для науки результатов диссертационного исследования

Полученные в ходе диссертационного исследования результаты существенным образом расширяют представления об особенностях гидрологических процессов в стратифицированных бассейнах, влияющих на характеристики внутренних волн. Получен оригинальный и новый результат, показывающий что существует высокая корреляция между скоростью распространения внутренних волн и индексом стратификации в природных бассейнах, позволяющая выполнять экспресс-оценки скоростей волн без решения краевой задачи Штурма-Лиувилля. Получены новые оценки донных скоростей во внутренних волнах, демонстрирующие, что распространение волнового пакета умеренной амплитуды может способствовать взвешиванию осадков и транспорту донных отложений

на значительных расстояниях. Оценки корреляционных связей записей на верхнем и нижнем пикноклинах, позволили высказать предположение о лучевом (характере распространения внутренних волн и построить лучевые картины многомодового распространения внутренних волн в природных водоемах

Значимость для практики результатов диссертационного исследования

Диссертационное исследование имеет высокую практическую значимость, которая подтверждена большим числом авторских свидетельств, включая разработанную геоинформационную онлайн систему, позволяющую проанализировать кинематические и нелинейные характеристики внутренних волн по гидрологическим данным – наблюдаемым и/или модельным. В ходе диссертационного исследования был составлен Атлас кинематических и нелинейных параметров внутренних волн для конкретного бассейна (Японского моря), который демонстрирует, что типичными являются солитоны отрицательной полярности (с прогибом пикноклина), а также «Толстые» солитоны теоретически могут встречаться только в прибрежной зоне. Результаты проведенных расчетов позволяют выделить районы по построенным картам приливов, где происходит увеличение всех кинематических и динамических характеристик волновых полей, поэтому полученные карты можно использовать для предварительных оценок возможных эффектов, включая планирование численных экспериментов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Результаты расчетов, полученные в работе, могут использоваться как для экспресс-оценок характеристик внутренних волн, прогноза возможных сценариев их генерации и трансформации, так и для более детального моделирования их распространения. Полученные оценки также могут использоваться для анализа влияния внутренних волн на распространение акустических сигналов в толще вод, перераспределение взвешенных частиц, включая питательные вещества и живые организмы, транспорт донных наносов. Разработанная геоинформационная онлайн система находится в свободном доступе (https://lfnad.nntu.ru/ru/projects/property_IW/) и необходима многим потребителям, в частности, для предварительных оценок при планировании и проведении численных и натурных экспериментов.

Замечания по диссертации

Диссертация в целом выполнена на высоком уровне, однако по работе имеются следующие замечания:

1. В автореферате указано, что работа содержит четыре приложения, но в самой диссертации они не содержатся.
2. Главы диссертационной работы: вторая, третья и четвертая содержат параграф «Введение» размером в один абзац, который в текущей редакции не несет большого смыслового значения.
3. Первая глава содержит обзорный материал, однако в конце главы представлено пятое защищаемое положение.
4. Встречаются повторы текста, например стр. 64, последний абзац и не законченные предложения: последнее в третьем абзаце п.2.4.

5. Несмотря на сформированный в каждой главе раздел «Заключение», общее заключение по диссертации в разделе «Заключение», по сути, представляет собой перепись защищаемых положений.

Представленные замечания носят дискуссионный либо рекомендательный характер и не снижают научную и практическую значимость полученных результатов.

Заключение

Диссертационная работа Кокоулиной Марии Владимировны является законченной научно-квалификационной работой, в которой автором проведено значимое для науки исследование особенностей нелинейных волновых движений в стратифицированных бассейнах.

Работа соответствует паспорту специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации и в необходимом объеме полностью отражает ее основные результаты и выводы. Результаты работы прошли хорошую апробацию на конференциях различного уровня и изложены в значительном числе статей в ведущих журналах.

Диссертационная работа «Особенности нелинейных волновых движений в стратифицированных бассейнах» соответствует всем критериям установленным в п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в действующей редакции), а ее автор, Кокоулина Мария Владимировна заслуживает присуждение ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Отзыв составлен на основании обсуждения и положительного заключения на совместном заседании лаборатории волновой динамики и прибрежных течений и лаборатории цунами, и утвержден на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, протокол № 7 от 15 ноября 2023 года. Присутствовали 15 человек из 18 человек. Результаты голосования: за – 15, против – нет, воздержавшихся – нет.

Лица, подписавшие заключение, согласны с включением своих персональных данных в аттестационное дело соискателя Кокоулиной М.В. и их дальнейшей обработке.

ведущий научный сотрудник
лаборатории волновой динамики и
прибрежных течений
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт морской геологии
и геофизики Дальневосточного отделения
Российской академии наук,
доктор технических наук
(специальность 25.00.28 – океанология)



Ковалев Петр Дмитриевич

ведущий научный сотрудник,
руководитель лаборатории цунами
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт морской геологии
и геофизики Дальневосточного отделения
Российской академии наук,
кандидат физико-математических наук
(специальность 25.00.29 – физика атмосферы и
гидросферы)

Лоскутов Артём Владимирович

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук
(ФГБУН ИМГиГ ДВО РАН)

ул. Науки, 1Б

г. Южно-Сахалинск, 693022

тел.: +7 (4242) 791-517

e-mail: nauka@imgg.ru

Подписи П.Д. Ковалева и А.В. Лоскутова заверяю

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт морской геологии
и геофизики Дальневосточного отделения

Российской академии наук,

кандидат биологических наук



А.В. Кордюков

«15» ноября 2023 г.