

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Наумова Александра Александровича «Внутренние волны в горизонтально-неоднородных стратифицированных бассейнах: свойства, эволюция и динамические эффекты», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Представленная работа посвящена актуальной проблеме механики жидкости – развитию математических моделей, позволяющих оценить основные параметры и свойства внутренних волн в процессе их распространения в горизонтально-неоднородных стратифицированных бассейнах.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Во Введении излагается обзор состояния проблемы и постановка задачи. Далее сформулированы цели диссертационной работы, изложена формулировка актуальности проблемы, перечислены пункты, отражающие новизну результатов. Автор выносит на защиту 6 положений. Довольно подробно во Введении изложен раздел «Апробация работы», где перечислены все публикации, включая тезисы докладов на конференциях. Упоминаются научные гранты, в рамках которых выполнялась работа, и указан личный вклад диссертанта.

В первой главе представлен краткий обзор используемых в диссертации гидродинамических моделей внутренних волн. Сначала воспроизводится вывод уравнений теории мелкой воды, как однородной жидкости, так и стратифицированной. В случае однородной жидкости известные уравнения нелинейной теории мелкой воды получаются при условии относительной малости уклонов дна. В случае непрерывно стратифицированной жидкости соответствующие уравнения получаются в линейном приближении для жидкости постоянной глубины, они различны для каждой моды внутренних волн. Для N-слойного потока нелинейные уравнения мелкой воды могут быть записаны для каждого из слоев с учетом граничных условий на скачках плотности. Далее описывается асимптотическая процедура вывода уравнения Кортевега-де Вриза для одномодовых нелинейных внутренних волн в жидкости

с плавными изменениями гидрологии и глубины. Затем показывается, что для внутренних волн необходимо следующее приближение, приводящее к уравнению Гарднера. Уравнения Кортвега-де Вриза и Гарднера являются основными для описания нелинейных свойств поля внутренних волн в Мировом океане. В последнем разделе первой главы выполнен анализ географического распределения прогностических кинематических и нелинейных параметров внутренних волн второй моды в Южно-Китайском море в рамках уравнения Гарднера (ранее в литературе подобные расчеты делались только для первой моды). Основным выводом этой главы, можно, считать заключение о том, что построенные карты позволяют производить экспресс-оценки параметров внутренних солитонов и бризеров, величины предельных амплитуд солитонов различных семейств, прогнозировать придонные и приповерхностные скорости течений, индуцированных внутренними солитонами и бризерами, а также оценивать расстояния переноса примесей.

Вторая глава посвящена моделированию распространения внутренних волн на океанских шельфах. Приведено развитие теории «безотражательных» откосов для каналов переменного сечения и глубины, актуальной для оценки трансформации внутренних волн во фьордах и эстуариях рек, и исследовано распространения импульса внутренней волны в двухслойной среде со сшивкой двух «безотражательных» откосов. Наиболее интересные с точки зрения новизны результаты моделирования были получены при исследовании формирования внутреннего солибора в Печерском море. Расчеты показали, что резкий перепад (кинк) сохраняется на расстоянии порядка одного-трех километров, а затем он трансформируется в солибор (ударная волна с ондуляциями), время жизни которого составляет 10-15 ч.

В третьей главе изучается воздействие внутренних волн на транспорт частиц. Эта глава представляется самым важным разделом диссертации. В ней получена расчетная формула для вариаций донного давления, вызванных внутренними волнами, в рамках линейной теории длинных волн. Показано, что временная запись донного давления полностью повторяет форму внутренней волны в пикноклине, а относительные вариации скорости течений во

внутренних волнах (по сравнению со скоростью ее распространения) могут быть достаточно большие – до 50% и выше, а абсолютные - до несколько десятков см/с. Этих величин достаточно для перемещения донных осадков внутренними волнами. Также в данной главе подтверждено, что использование слабонелинейной модели достаточно для определения траекторий жидких частиц, и учет первой дисперсионной поправки практически не влияет на качественные и количественные характеристики смещения частиц. При этом отмечено существенное отличие траекторий жидких частиц для двух типов нелинейных волновых движений в стратифицированной жидкости – солитонов и бризеров

В Заключение сформулированы основные результаты диссертации.

В списке литературы содержится 158 ссылок, которые достаточно полно отражают современный уровень исследований.

Представленная диссертация отражает большой объем работы, выполненный автором. 4 статьи напечатаны в изданиях, рекомендованных ВАКом, а общее число публикаций 14. Следует отметить практическую значимость полученных результатов. Прежде всего, это построенные прогностические карты кинематических и нелинейных характеристик длинных внутренних волн, позволяющие производить экспресс-оценки ширины и формы внутренних солитонов и бризеров при заданной амплитуде, величины предельных амплитуд солитонов различных семейств, прогнозировать придонные и приповерхностные скорости течений, индуцированных внутренними солитонами и бризерами, а также оценивать расстояния, на которые переносятся примеси (Глава 1). Полученные аналитические решения, демонстрирующие возможность сильного усиления внутренних волн в узких бухтах, полезны для тестирования гидростатических моделей внутренних волн в шельфовой зоне (Глава 2). Расчетные формулы для вариаций донного давления и придонного течения, вызванных внутренними волнами, могут быть использованы при разработке методов регистрации внутренних волн, защищенных от шума ветровых волн на морской поверхности (Глава 3).

Личный вклад соискателя. Представленная диссертационная работа показывает, что автор неплохо разбирается в современном состоянии исследований по проблеме моделирования генерации и распространения внутренних волн. Список литературы включает основополагающие работы в этой области исследований. Несмотря на то, что постановки задач принадлежат руководителю диссертационной работы, Наумов А.А. выполнил большинство численных и аналитических расчётов, а также принимал непосредственное участие в обсуждении и интерпретации полученных результатов совместных исследований.

Достоверность полученных результатов. Достоверность полученных результатов обоснована выбором апробированных физических моделей, математической корректностью постановок гидродинамических задач, строгим использованием аналитических и численных методов, сопоставлением с известными результатами в частных случаях.

Практическая значимость работы. Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы для экспресс-оценки параметров внутренних волн и разработке методов их регистрации, а также полезны для тестирования гидростатических моделей внутренних волн в шельфовой зоне.

Стоит отметить ряд замечаний:

1. Приводя карты кинематических характеристик второй моды для одного из районов Мирового океана, хотелось бы видеть сравнение с аналогичными картами для первой моды, например, по знаку коэффициентов нелинейности: меняют ли они знаки в близких точках или нет.
2. В случае так называемого безотражательного распространения получен эффект дисперсии, связанный с геометрическим масштабом неоднородной среды. Мы в своих исследованиях активно используем асимптотические методы для внутренних волн в неоднородной среде. Было бы весьма интересно рассмотреть содержательный пример (например, для лабораторных условий) сопоставления двух подходов и дать анализ разницы в результатах. Пока же все формулы в этом разделе носят общий характер.
3. Для некоторых случаев безотражательного распространения автором

получены замкнутые конфигурации дна типа одномерного «озера». Но тогда отражение от обоих концов «озера» существенно, и авторские решения могут быть использованы для нахождения внутренних сейш и их параметров. Этот важный вопрос вообще не проговаривается в диссертации.

Несмотря на указанные замечания, следует отметить положительное впечатление о работе, которая содержит ряд новых выводов и заключений.

Представленная Наумовым А.А. диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, в соответствии с п. 9. Положения о присуждении ученых степеней, является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития теории и практики механики жидкости. Предлагаемые методы и решения являются актуальными и практически значимыми.

Автор, Наумов Александр Александрович, продемонстрировал хорошую научную квалификацию и заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Булатов Виталий Васильевич,
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского
Российской академии наук
119526 Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1,
тел. 8(495)4343238,
e-mail: internalwave@mail.ru

Подпись д. ф.-м.н. В.В. Булатова подтверждаю:
Ученый секретарь ИПМех РАН
к. ф.-м.н.



Е.Я. Сысоева