

Отзыв официального оппонента

Репиной Ирины Анатольевны

на диссертационную работу Хазанова Григория Ефимовича «Исследование затухания гравитационно-капиллярных волн в океане в присутствии поверхностных пленок и фрагментированного льда», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 – Океанология

Актуальность темы диссертационной работы

Решение задачи определения параметров загрязнения поверхности океана и процессов, влияющих на их распространение, на основе комплексного анализа спутниковой информации является важной и актуальной задачей. Для надежной интерпретации спутниковой информации, в частности, радиолокационных данных, наиболее часто используемых для идентификации пленочных загрязнений на поверхности, необходимо выяснение физических механизмов формирования радиолокационных контрастов. При этом анализ характеристик волн на поверхности воды, покрытой пленками органических поверхностно-активных веществ (ПАВ), масла/нефтепродуктов, очень важен. Исследование затухания гравитационно-капиллярных волн в присутствии пленок конечной толщины является важной частью проблемы дистанционной диагностики морских пленок.

Особый интерес представляет исследование затухания волн при их взаимодействии с ледяными полями, в частности, в прикромочных зонах морского льда. Начальные формы льда (НФЛ) приводят к затуханию волн на морской поверхности и, соответственно, влияют на интенсивность микроволнового рассеяния; в результате идентификация участков поверхности, покрытой НФЛ и находящейся в области между сплоченным льдом и открытой водой, может быть довольно затруднительной. Другой аспект проблемы затухания волн в присутствии НФЛ заключается в том, что области сильного затухания волн на радиолокационных панорамах океана после прохождения зон, покрытых НФЛ, могут быть ошибочно интерпретированы как, нефтяные загрязнения, что является важным для зоны северного морского пути и районов нефтедобычи на шельфе. Механизмы затухания поверхностных волн в присутствии НФЛ пока изучены недостаточно, включая, в частности, связь эффективной вязкости ледяного сала с объемной концентрацией частиц льда, а также зависимость затухания от размеров льдин, особенно при сопоставимости этих размеров с длиной поверхностной волны.

Содержание диссертационного исследования

Работа состоит из четырех глав, введения и заключения. Во введении раскрывается актуальность диссертационной работы, представляется новизна результатов, их научная и практическая значимость, формулируются положения, выносимые на защиту.

В **Главе 1** приводится теория затухания ГКВ на поверхности воды в присутствии вязко-упругой пленки конечной толщины, а также, описан эффект двойного резонанса. В разделе 1.1 приведен обзор литературы, посвященной анализу затухания ГКВ на поверхности воды. В разделе 1.2 описаны основные уравнения и граничные условия для волновых движений малой амплитуды в двухслойной вязкой жидкости. В разделе 1.3 изучаются чисто вихревые волны в двухслойной вязкой жидкости – продольные волны Марангони. В разделе 1.4 дан анализ волновых движений в двухслойной жидкости и получено дисперсионное соотношение для гравитационно-капиллярных и внутренних волн. В разделе 1.5 приведены выражения для коэффициента затухания гравитационно-капиллярных волн. Показано, что в случае толстой пленки моды Марангони возбуждаются резонансным образом, если волновое число ГКВ близко к одному из волновых чисел мод Марангони. Показано, что затухание, определяемое в основном вихревой компонентой ГКВ, может иметь двухпиковый характер в зависимости от волнового числа. Приведены сравнения с численными результатами других авторов.

Глава 2 посвящена теоретическому и лабораторному моделированию затухания ГКВ на воде с неоднородными по толщине пленками. В разделе 2.1 представлены характеристики пленок, толщины которых превышают толщины мономолекулярных пленок. Обоснована актуальность задачи радиолокационного зондирования поверхности океана в присутствии пленок конечной толщины и неоднородных по толщине пленок. В разделе 2.2 представлены теоретические расчеты коэффициента затухания как функции толщины пленки и сравнение с экспериментом. Показано, что зависимости коэффициента затухания ГКВ от толщины пленки немонотонны и характеризуются возникновением сильного локального максимума при значениях толщины от нескольких десятых долей миллиметра до 1 мм. В разделе 2.3 представлено лабораторное моделирование неоднородных пленок, описана экспериментальная методика и особенности растекания нефтяной пленки по поверхности кюветы. В разделе 2.4 представлено экспериментальное исследование затухания ГКВ на сильно неоднородных пленках, описан метод параметрических возбуждаемых волн в основе которого лежит параметрическое возбуждение ГКВ в кювете, расположенной на вибростенде. В разделе 2.5 описана простая физическая модель затухания на неоднородных пленках и дана

физическая интерпретация роста затухания с ростом относительной площади линзовой фазы. В разделе 2.6 описаны эксперименты с нефтяными пленками, получена зависимость коэффициента затухания ГКВ от относительной площади линзовой фазы, дано сравнение экспериментальных данных с имеющимися теоретическими результатами.

В **Главе 3** представлено физическое моделирование затухания ГКВ на поверхности воды в присутствии фрагментированного льда. Описаны методики и результаты модельных экспериментальных и натуральных экспериментов. В разделе 3.1 представлена актуальность задачи изучения взаимодействия волн и фрагментированного льда, приведен обзор литературы, включая теоретически модели, лабораторные и натурные эксперименты. В разделе 3.2 представлены результаты лабораторного моделирования затухания гравитационных волн в присутствии имитаторов льда. В разделе 3.3 дано обсуждение физического механизма затухания на основе интерпретации с присоединенной массой, предложена простая теоретическая модель. В разделе 3.4 представлены описание и результаты специальных натуральных экспериментов по изучению затухания ветровых волн различной длины в присутствии имитаторов льдин.

Глава 4 посвящена численному моделированию затуханию ГКВ на поверхности воды в присутствии фрагментированного льда в среде «OpenFOAM». В разделе 4.1 представлены возможности и сильные стороны пакета «OpenFOAM», определяющие выбор данного пакета для решения задачи взаимодействия волны и льдины. В разделе 4.2 показаны основные уравнения и утилиты пакета для численного расчета, показана геометрия задачи и представлена постановка численного эксперимента. В разделе 4.3 показаны результаты численного моделирования и дано сравнение с результатами натурального эксперимента.

Основные результаты и их новизна

В процессе работы получены следующие результаты:

1. Разработана приближенная теория затухания гравитационно-капиллярных волн (ГКВ) при наличии пленок конечной толщины на поверхности воды. Показано, что вихревая компонента ГКВ может быть формально описана как «вынужденная» продольная волна (волна Марангони, VM), которая в основном определяет затухание ГКВ и которая наиболее эффективно возбуждается потенциальной компонентой ГКВ, когда волновые числа ГКВ и собственной моды VM близки. Показано, что для толстой пленки существуют две вынужденные моды VM, локализованные в пограничных слоях соответственно вблизи границ вода – пленка и пленка – воздух, что при определенных значениях параметров упругости границ раздела, толщины и вязкости пленки приводит к возникновению двух максимумов

коэффициента затухания ГКВ как функции волнового числа ГКВ из-за резонанса с каждой из вынужденных мод ВМ.

2. Показано, что величина коэффициента затухания ГКВ характеризуется сильным максимумом при толщине пленки, сравнимой с толщиной пограничного слоя. Зависимость коэффициента затухания ГКВ от волнового числа для толстой пленки с упругими границами оказывается более широкой, чем для тонкой пленки, что может быть использовано как признак толстой пленки. Показано, что экспериментальные значения затухания ГКВ в присутствии как квазиномолекулярных пленок, так и пленок конечной толщины, находятся в хорошем соответствии с модельными теоретическими значениями. В ходе лабораторного моделирования затухания волн на поверхности воды в присутствии неоднородных по толщине пленок, показано, что коэффициент затухания возрастает с ростом относительной площади толстой пленки (линзовой фазы), соседствующей с тонкой пленкой. Предложено физическое объяснение эффекта в рамках модели линз-стенок, уменьшающих площадь поверхности тонкой пленки и, соответственно, увеличивающих затухание волн из-за возрастания влияния стенок.

3. В ходе натуральных и лабораторных экспериментов исследована зависимость коэффициента затухания поверхностных волн от их частоты в присутствии имитаторов фрагментированного льда. Показано, что коэффициент затухания характеризуется наличием локального максимума для волн с длинами порядка размеров льдин.

4. В ходе численного моделирования в среде «OpenFOAM», решена задача взаимодействия тела (льдин) и падающей на него волны, и показано, что коэффициент затухания имеет максимум для волн с длинами порядка масштаба льдин. Рассчитанные величины коэффициента затухания удовлетворительно согласуются с экспериментальными значениями. Дано физическое объяснение эффекта резонансного затухания волны как результата возрастания присоединенной массы льдин, когда частоты их собственных вертикальных и вращательных колебаний близки к частотам волн.

Степень обоснованности научных положений и достоверность полученных результатов

Автор диссертации принимал непосредственное участие в лабораторных и натуральных экспериментах, а также в разработке методик исследования и теоретических моделей. Высокая степень достоверности результатов проведенных исследований обеспечивается использованием надёжных физических моделей и применением теоретических методов,

имеющих строгое математическое обоснование. Результаты тщательно сопоставлялись с лабораторными экспериментами и численным моделированием, а также с результатами, полученными ранее другими авторами. Результаты исследований докладывались и обсуждались на ряде совещаний, семинаров, международных и российских конференциях.

По теме диссертации опубликовано 12 работ, из них 2 – в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК.

Ценность для науки и практики результатов работы

Результаты работы, безусловно, имеют большое практическое значение. Они позволяют понять механизмы затухания гравитационно-капиллярных волн на поверхности воды в присутствии пленок ПАВ конечной толщины, неоднородных по толщине пленок и фрагментированного льда.

Полученные аналитические формулы для коэффициента затухания ГКВ на поверхности воды, покрытой слоем вязкой жидкости конечной толщины с упругими границами, могут иметь значение для интерпретации данных дистанционного зондирования с целью обнаружения разливов нефти и других поверхностных пленок различного происхождения. Полученные в ходе экспериментального и численного моделирования зависимости затухания гравитационных волн от отношения длины волны к размеру льдины важны для понимания физических механизмов затухания волн, а также для корректной интерпретации спутниковых изображений морской поверхности, покрытой несплоченным льдом. Также эти результаты важны для правильной интерпретации спутниковых изображений в арктической зоне с целью обнаружения нефтяных загрязнений.

Замечания по диссертационной работе в целом

Отсутствуют сведения в каких публикациях отражены основные выводы диссертации и материалы её глав. И большой материал, представленный в диссертации, заслуживает большего количества публикаций.

В обзоре и списке литературы нет ссылок на работы российских авторов, кроме работ научного руководителя соискателя, которые почему-то даны только в переводной версии. Отсутствуют ссылки а анализ работ по идентификации нефтяных загрязнений с использованием методов дистанционного зондирования Костяного А.Г., Лавровой О.Ю., Митягиной М.И. (Митягина, Чюрюмов 2006, Митягина и др., 2015, Костяной и др. 2021, Митягина, Лаврова 2012, 2020 и мн. другие, в частности монографии Лаврова О.Ю. и др.

Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 480 с.; Лаврова О.Ю. и др. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М.: ИКИ РАН, 2016. 334 с.).

Очень фрагментарное описание лабораторного эксперимента (разделы 2.3 и 2.4). Не указан размер кюветы, объем воды, условия проведения эксперимента.

Полезно было бы сравнить результаты лабораторного и натурального экспериментов. В результате существенное различие между значением коэффициентов затухания в лабораторном и натурном эксперименте осталось без комментариев. И здесь возникает вопрос насколько обосновано использование пористых губок в качестве имитатора льдин.

В реальном океане прикромочные зоны представляют собой комбинацию колотого льда и начальных стадий формирования льда, которые различаются по радиолокационным контрастам, но каждая форма вносит свой вклад в затухание волн. Можно ли учитывать в модели комбинацию различных форм льда?

Есть ряд замечаний к оформлению работы.

Есть ошибки и неточности в формулах. В частности, вызывает недоумение ур. 27 на стр. 25.

Небрежно выполнены рисунки, особенно в автореферате – мелкие нечитаемые подписи на английском языке.

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Заключительная оценка

Диссертационная работа Хазанова Г.Е. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на хорошем научном и техническом уровне. В работе приведены интересные исследования особенностей затухания ГКВ в присутствии нефтяных пленок и фрагментированного морского льда. Работа имеет огромное практическое значение, так как вносит значительный вклад в развитие методов обнаружения нефтяных загрязнений на поверхности океана. В работе приведены научные результаты, позволяющие квалифицировать её как законченное и значимое научное исследование. Полученные автором результаты имеют новый уровень, являются достоверными, а выводы и заключения обоснованными.

Результаты диссертационной работы своевременно опубликованы в 12 печатных трудах, 2 из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертационного исследования.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 – **океанология**, а ее автор Хазанов Григорий Ефимович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по этой специальности.

Официальный оппонент

Заведующая Лабораторией взаимодействия атмосферы и океана

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института физики атмосферы им. А.М. Обухова

Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН),

Доктор физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

Тел. 8-495-951-85-49, e-mail: repina@ifaran.ru

119017, Москва, Пыжевский пер. 3

Репина Ирина Анатольевна

1.12.2023

Я, Репина Ирина Анатольевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

«1» декабря 2023 г.

Подпись И.А. Репиной заверяю:

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института физики атмосферы им. А.М. Обухова

Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН)

Краснокутская Людмила Дмитриевна

