

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Шоминой Ольги Владимировны «Исследование механизмов изменчивости коротких ветровых волн и геометрии сликовых структур в приложении к проблеме радиолокационного зондирования морской поверхности» представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

Диссертация О.В. Шоминой посвящена исследованию механизмов изменчивости спектральных характеристик ветрового волнения в присутствии пленок поверхностно-активных веществ (ПАВ) и турбулентности в приповерхностном слое моря, а также анализу геометрии сликовых структур в поле неоднородного (вихревого) течения и однородного ветрового воздействия.

Актуальность темы исследования обусловлена важностью дистанционной диагностики загрязнений на поверхности моря, которая связана, главным образом, с использованием метода микроволнового радиолокационного (РЛ) зондирования. Этот метод обнаружения пленочного поверхностного загрязнения является всепогодным и круглосуточным. Основная проблема его эффективного применения заключается в отсутствии надежных связей между характеристиками пленок поверхностного загрязнения и рассеянным радиолокационным сигналом. Кроме того, недостаточно изучены процессы распространения поверхностных загрязнений в море под влиянием неоднородного течения и ветрового воздействия. Перечисленные выше факторы, на исследование которых направлена данная работа, ограничивают возможность оперативного мониторинга состояния морской поверхности и уменьшают достоверность прогноза распространения и эволюции пленочных загрязнений морской среды.

Конкретно в рамках диссертационной работы решались следующие научно-технические задачи:

а) проведение натуральных экспериментов по РЛ наблюдению искусственно созданных сликов ПАВ при умеренных углах зондирования и анализ полученных контрастов Брэгговской и неполяризованной компонент при различных гидрометеорологических условиях;

б) исследование затухания поверхностных волн при наличии турбулентности в водной среде, сравнение характеристик их затухания с характеристиками затухания волн на пленках ПАВ в приложении к проблеме формирования спектра ветровых волн и дистанционной диагностике сликов;

в) теоретическое исследование особенностей геометрии линий тока и численное моделирование распространения пассивной примеси от точечного источника в поле однородного ветрового дрейфа и неоднородного течения - одиночного морского вихря.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка цитируемых источников и списка работ, опубликованных по теме диссертации.

Во **введении** формулируется цель работы, обосновывается ее актуальность и новизна, приводятся положения, выносимые на защиту, а также формальные характеристики работы.

В **первой** главе представлено описание натуральных экспериментов в Горьковском водохранилище и в прибрежной зоне Черного моря (пос. Кацивели) по наблюдению сликов, искусственно созданных в поле поверхностных волн с помощью высокоупругих ПАВ, по спутниковым данным и с помощью средств многочастотной радиолокации при умеренных углах падения радиоволн. Изложена методика проведения этих наблюдений с известными характеристиками спутниковой (X- диапазон) и многочастотной поляризационной радиолокации (S-C-X- диапазон). Представлены результаты РЛ зондирования сликов в различных направлениях к ветру, в частности анализ изменения контрастов Брэгговской и неполяризованной компонент. Значительное (в несколько раз) уменьшение интенсивности неполяризованной компоненты в присутствии пленки ПАВ по сравнению с

«чистой» водой при умеренной скорости ветра свидетельствует о существенном влиянии пленки на характеристики микрообрушений поверхностных волн.

Показано, что контрасты и Брэгговской, и неполяризованной компонент в целом имеют тенденцию уменьшения с возрастанием скорости ветра. Для объяснения наблюдаемого эффекта предложена модель локального баланса энергии волн с учетом нового члена, ответственного за их затухание, связанного с турбулизацией верхнего слоя моря при увеличении скорости ветра.

Во **второй** главе приведено исследование затухания поверхностных волн в присутствии приповерхностной турбулентности в приложении к проблеме формирования спектра ветрового волнения, в том числе, при наличии пленок ПАВ. С использованием параметрического метода возбуждения поверхностных волн в лабораторных условиях исследовано влияние искусственно генерируемой турбулентности на затухание этих волн. Получены зависимости коэффициентов затухания гравитационно-капиллярных волн и вихревой вязкости от частоты волны и для сопоставимых масштабов турбулентности и длины волны впервые выявлено существование максимума вихревой вязкости как функции длины волны. Показано, что величина вихревой вязкости пропорциональна среднеквадратичной скорости турбулентных пульсаций, как это и должно быть при фиксированном интегральном масштабе турбулентности.

Третья глава посвящена исследованию геометрии поверхностных сликовых структур в поле однородного ветра и неоднородного течения, а именно, одиночного вихря. Показано, что часто используемый «прямой» подход, пренебрегающий влиянием приповерхностного ветра на кинематику элемента слика и не учитывающий положение источника ПАВ относительно центра вихря, может приводить к некорректной интерпретации спутниковых данных в части восстановления характеристик вихрей. На основе теоретического анализа особенностей линий тока приповерхностного

течения, связанного с осесимметричным спиральным вихрем и постоянным ветровым дрейфом, показано, что присутствие поверхностного дрейфа со скоростью, меньшей максимальной скорости в вихре, приводит к образованию двух критических точек линий тока. Первая, являющаяся узлом или фокусом и расположенная внутри ядра вихря, является устойчивой, если дивергенция двумерного поля скорости в этой критической точке отрицательна, и неустойчивой, если - положительна. Вторая особая точка, локализованная вне ядра вихря, является седлом. Такое поведение линий тока качественно согласуется с особенностями геометрии сликовых структур, наблюдаемых на спутниковых изображениях морской поверхности.

Показано, что в присутствии однородного ветрового дрейфа истинный центр морского вихря и центр сликовой спирали могут не совпадать, а расстояние между ними может достигать порядка радиуса ядра вихря. Применимость полученного вывода обсуждается на основе анализа литературных данных. Продемонстрировано наличие «пороговой» скорости ветра, превышение которой приводит к невозможности образования спиральной сликовой структуры при неизменных характеристиках вихря. Показано, что при заданных характеристиках вихря масштаб проявляемой спиральной структуры зависит от положения источника ПАВ относительно центра вихря, величины и направления однородного дрейфового течения и может варьироваться в широких пределах

В заключение, сформулированы основные результаты работы, пригодные для практического использования при развитии методов дистанционного зондирования океана.

По работе имеются следующие замечания.

1. Текст диссертации и автореферата содержит довольно много стилистических шероховатостей. Часто используется научный сленг, которого было бы правильно избегать.
2. В Главе 1 условия натурального эксперимента описаны весьма скудным образом. Не указано, например, какой объем "модельных" веществ ПАВ

добавлялся в морскую среду, какая толщина пленки ПАВ при этом получалась? Этот параметр весьма важен для оценки степени влияния пленки на поверхностное волнение.

3. В той же главе, при описании условий натурального эксперимента, указано, что во время проведения опытов "при помощи акустического доплеровского профилографа течений (ADCP Workhorse Sentinel) собиралась сопутствующая информация о процессах в приповерхностном слое: приповерхностных течениях, положении термоклина, температуре верхнего слоя воды и пр.". Эти процессы в ряде ситуаций, действительно, могут оказывать существенное влияние и на поверхностное волнение, и на толщину пленки (например, ее модуляция внутренними волнами). Вместе с тем при анализе результатов опытов, данные ADCP никак не учитываются и не обсуждаются.
4. В выводах к Главе 1 следовало бы словами описать суть физического механизма изменения контрастов Брэгговской компоненты рассеяния при зондировании вдоль и поперек направления ветра.
5. В параграфе 2.21 Главы 2 "Возбуждение гравитационно-капиллярных волн" отсутствует ссылка на основополагающую работу Фарадея (1831), где впервые был описан способ параметрического возбуждения поверхностных волн, при котором $\omega=2\Omega$). В литературе такого рода волны часто называют "волнами Фарадея".
6. На стр. 57 даны "странные" ссылки [ИКИ, 2011, ФАО, 2014]. Что это за работы?
7. В параграфе 2.3.1. толком не описаны условия проведения опытов в кольцевом ветроволновом бассейне ИПФ РАН. В частности, неясно, как создавалась пленка ПАВ, какие вещества для этого использовались?
8. Стр. 69. Что такое "перенасыщенная пленка"?
9. Рис. 2.12, 2.13. Диаграмма сравнения k -тов затухания из-за турбулентности и пленки ПАВ... Что отложено по осям? Нет определения упругости пленки. Это объемная упругость?

10. Во введении к Главе 3 приводятся слишком общие сведения о вихрях в океане и о методах их исследования (спутниковая альтиметрия, радиолокационное зондирование и др.). Следовало бы разделить вихри хотя бы на 2 категории: мезомасштабные (квазигеострофические) и субмезомасштабные (агеострофические) поскольку они характеризуются совершенно разными пространственно-временными масштабами.

11. Практическое приложение результатов анализа (модели) геометрии поверхностных сликовых структур в поле вихря при наличии однородного ветрового течения относится, прежде всего, к небольшим и короткоживущим субмезомасштабным вихрям ($D \leq 10$ км, t - несколько суток), поскольку мезомасштабные вихри ($D \sim 100$ км, $t \geq 100$ суток) слабо реагируют на быстро переменчивый ветер. Субмезомасштабные вихри зачастую образуются в области океанических фронтов, характеризующихся значительными сдвиговыми течениями. Представляется, что дальнейшее развитие модели должно быть направлено на учет горизонтального сдвига течения в окрестности вихря.

Указанные замечания не изменяют положительной оценки работы, значимости и новизны, представленных в диссертации результатов, и часть из них имеет рекомендательный характер.

Результаты диссертации были доложены на многих научных конференциях, в том числе, всероссийских и международных. Ее содержание достаточно полно отражено в более чем двадцати печатных работах, из которых 11 научных статей опубликованы в рецензируемых журналах из списка ВАК Минобрнауки РФ. Автореферат адекватно отражает содержание диссертационной работы.

Завершая отзыв, хочу отметить, что диссертация О.В. Шоминой является вполне законченным трудом, выполненным на высоком научно-техническом уровне и содержащим новые результаты, имеющие важные практические приложения. Совокупность полученных в работе результатов позволяет квалифицировать ее как значительный вклад в решение важной

научной проблемы исследования влияния различных физических факторов на формирование и идентификацию сликовых структур на поверхности моря с использованием методов радиолокационного зондирования.

На основании изложенного считаю, что данная диссертационная работа отвечает требованиям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, Ольга Владимировна Шомина, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий Лабораторией экспериментальной физики океана
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН
(117997, Москва, Нахимовский проспект д. 36)
Зацепин Андрей Георгиевич
тел.: 89636715104
e-mail: zatsepin@ocean.ru

А. Зацепин
10.02.2022

Я, Зацепин Андрей Георгиевич, даю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации.

Подпись Зацепина Андрея Георгиевича заверяю.

Ученый секретарь ИО РАН
Фалеева А.С.
10.02.2022

