

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу ШОМИНОЙ Ольги Владимировны
«ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОРОТКИХ ВЕТРОВЫХ ВОЛН
И ГЕОМЕТРИИ СЛИКОВЫХ СТРУКТУР В ПРИЛОЖЕНИИ К ПРОБЛЕМЕ
РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ»,
представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

Диссертационная работа Шоминой Ольги Владимировны посвящена исследованию особенностей обратного рассеяния радиоволн в S-C-X-диапазонах на морской поверхности в присутствии пленок ПАВ, причин изменчивости спектра коротких ветровых волн в сликах, а также особенностей формирования пространственных сликовых структур под действием ветра и поверхностных течений.

Актуальность темы диссертации обусловлена активным развитием спутниковой наблюдательной системы и необходимостью создания новых методов обработки и анализа данных, позволяющих восстановить физические параметры морской среды по данным дистанционных измерений. Радиолокация (РЛ) рассматривается как один из наиболее эффективных инструментов исследования и мониторинга морской среды (всепогодность, высокое пространственное разрешение и пр.), в частности, - поверхностных загрязнений. Несмотря на кажущуюся «простоту» РЛ наблюдений сликов, количественные параметры связи контрастов РЛ сигнала и характеристик загрязняющих веществ (биологического или искусственного происхождения) до сих пор неизвестны, что указывает на актуальность данной работы.

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

Во **Введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, новизна результатов и приведены положения, выносимые на защиту, отмечена научная и практическая значимость результатов работы.

В Главе 1 представлены результаты натурных экспериментов по РЛ наблюдениям искусственно созданных сликов с использованием PCA TerraSAR-X и радиолокатора, работающего на S-C-X-частотах на ВВ и ГГ поляризациях. Для анализа 2-х кополяризационных РЛ измерений используется предложенный ранее подход, позволяющий

выделить в исходном сигнале Брэгговское рассеяние и неполяризованные (НП) отражения от нелинейных особенностей поверхности, связанных с обрушениями волн. На основе анализа натуральных измерений показано, что контрасты НП-отражений в слике сопоставимы с контрастами Брэгговского рассеяния. Это свидетельствует о существенном влиянии пленки на обрушения волн. Контрасты Брэгговской и НП компонент в сликах уменьшаются с ростом скорости ветра, при зондировании по ветру контрасты растут с уменьшением длины волны, а при зондировании перпендикулярно ветру контрасты Брэгговской компоненты падают, а НП – растут с уменьшением длины волны. Интерпретация измерений на основе модели локального баланса энергии коротких волн, предложенной в [21], показала существенное расхождение данных и модели. На основании этого автор предложил модифицировать локальный баланс за счет введения эффекта турбулентной вязкости.

Этот вопрос рассматривается в **Главе 2** на основе лабораторных экспериментов по изучению затухание волн на приповерхностной турбулентности с использованием оригинального метода параметрически возбуждаемых волн. Получено, что вихревая вязкость пропорциональна произведению среднеквадратичной скорости турбулентных пульсаций и масштаба пульсаций, а в диапазоне длин волн сопоставимых с масштабом турбулентности, величина вихревой вязкости максимальна. Экспериментально установлено, что опрокидывание гребня волны приводит к генерации локализованной интенсивной турбулентности и к локальному разрыву пленки ПАВ. Это в совокупности может приводить к локальным сильным спектральным контрастам в зоне обрушений. Однако, в силу малости доли поверхности покрытой обрушениями, вклад этого механизма в осредненный по площади контраст между сликом и чистой поверхностью мал. Далее, механизм затухание волн на фоновой турбулентности включен в локальный спектральный баланс энергии коротких ветровых волн. Рассмотрен случай измерения РЛ контрастов в направлении перпендикулярно ветру. Получено, что включение дополнительного затухания волн позволяет улучшить соответствие модели измерениям.

Глава 3 посвящена исследованию эволюции геометрии поверхностных сликовых структур в поле ветра и течений, связанных с вихревыми образованиями в океане. На основе теоретического анализа кинематики пассивных трассеров в поле течения, представляющего суперпозицию течений вихря и дрейфового течения, проанализированы особенности линий тока, показано их соответствие сликовым структурам в океанических вихрях, наблюдаемых на спутниковых изображениях. Показано, что в присутствии ветрового дрейфа центры вихря и спиральной слика могут быть разнесены на расстояние

сравнимое с радиусом вихря. Продемонстрировано наличие «пороговой» скорости ветра, превышение которой приводит к невозможности образования спиральных сликовых структур в вихре.

В **Заключении** сформулированы основные результаты работы и выводы. В тексте диссертации цитируется 211 статей, достаточно полно отражающих современное состояние по рассматриваемой проблеме.

Замечания по диссертации:

1. Располагая уникальным инструментом, - 3х частотным радаром работающим на ВВ и ГГ поляризациях, автору следовало бы более полно использовать его возможности. В частности, определить основной «подгоночный» параметр « m » в модели спектра (1.9) (показатель степени в нелинейной диссипации) на основе измерений. Как было предложено в ряде работ из списка литературы, этот показатель степени не является «свободным» параметром, а напрямую связан с показателем степени, n , ветровой зависимости спектра Брэгговских волн: $n=2/m$. Соответственно, автор должен был бы оценить ветровые зависимости по поляризационной разности ВВ-ГГ в S-C-X-диапазонах, а по ним определить показатель степени в нелинейной диссипации для последующих оценок РЛ контрастов в сликах. В этом случае модели спектра волн и их контрастов в сликах были бы самосогласованы. К сожалению, автор упустил эту возможность, и весь дальнейший анализ РЛ контрастов сликов построен при фиксированном значении $m=2$, предложенным 80-х годах (Ермаков и др., 1980). Можно предположить, что возникающие далее проблемы с интерпретацией РЛ контрастов в сликах, связаны с необоснованным заданием параметра модели m .
2. Для анализа РЛ контрастов при наблюдениях перпендикулярно ветру автор идет на еще более радикальные упрощения, предполагая, что в этих условиях спектр волн определяется балансом притока энергии за счет пульсаций давления (механизм Филлипса) и вязкой диссипацией. Оставляя в стороне вопрос применимости этой модели для умеренных ветров, следует отметить очевидный факт, что проекция скорости ветра в направлении ему перпендикулярному равна нулю. Поэтому, приток энергии за счет резонансного возбуждения волн пульсациями давления переносимых воздушным потоком в этом направлении равен нулю, т.е. предполагаемый баланс невыполним.
3. Одним из эффектных результатов работы являются экспериментальные данные по подавлению РЛ отражений от обрушений волн в сликах (неполяризованная

компонента). Это, безусловно, заслуживает детального обсуждения, которого, к сожалению, в работе нет.

4. В Главе 2 предложено выражение для затухания волн на турбулентности, которое предлагается ввести в уравнение баланса спектра энергии коротких волн, и тем самым учесть влияние этого фактора на РЛ контрасты снимков. Однако, в работе не представлен анализ чувствительности используемой модели (1.9) или ее решения (1.14) к введению нового механизма. Влияние этого механизма на контрасты спектра проиллюстрированы только для частного случая, - условий РЛ наблюдений в направлении перпендикулярно ветру. Это проведено в рамках упрощенной модели баланса энергии (1.15) (вязкая/турбулентная диссипация балансирует приток энергии от пульсаций давления), который, как отмечено выше, ограничен малыми ветрами, и вряд ли выполняется при перпендикулярных ветру направлениях.
5. Коэффициент затухания волн на турбулентности определяется произведением масштаба скорости и масштаба длины турбулентных флуктуаций, генерируемых обрушениями волн. Выбор этих масштабов играет ключевую роль, что подразумевает детальное обсуждение этого вопроса с привлечением известных спектральных распределений длин обрушающихся гребней и их зависимости от скорости ветра (см Phillips 1985 и другие цитируемые в диссертации статьи). Однако, этот момент в работе упущен, а вместо этого предлагается в качестве масштаба скорости использовать выражение (2.13) (непонятно, имеет ли оно вообще отношение к обрушениям), а в качестве масштаба турбулентности использовать 3см . В целом, это смотрится (при отсутствии необходимых пояснений) как выбор некоего набора параметров, дающих желаемое совпадение модели и измерений.

Высказанные замечания, следует рассматривать как пожелания, которые никак не подвергают сомнению общий высокий научный уровень работы, обоснованность выводов и положений, выносимых на защиту.

В целом, диссертационная работа является законченным научным исследованием, в котором детально исследованы механизмы формирования радиолокационных контрастов снимков и их эволюции под действием поверхностных течений. Очень важно, что исследования основаны на фактическом материале, - результатах натуральных и лабораторных экспериментов с применением уникальной аппаратуры, в частности 3х

частотного радиолокатора работающего на ВВ и ГГ поляризациях, и современных методах обработки и анализа данных.

Результаты по теме диссертации опубликованы в 11 статьях в ведущих российских и зарубежных научных журналах, входящих в список Scopus, WoS и ВАК, и широко представлены на российских и международных конференциях, Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа Шоминой Ольги Владимировны полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а сам автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук,

заведующий Лаборатории Спутниковой Океанографии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

11 февраля 2022 г.

Кудрявцев Владимир Николаевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

192007, Российская Федерация,

Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79

Телефон (921) 912-47-11,

E-mail: kudr@rshu.ru

Подпись доктора физ.-мат. наук В.Н. Кудрявцева удостоверяю:

Начальник управления кадров
Орлов МВ
11.02.2022

11 февраля 2022