

## ОТЗЫВ

*официального оппонента, кандидата физико-математических наук А.В. Кузьмина, на диссертационную работу А.В. Ермошкина «Диагностика приповерхностных процессов в океане методом радиолокационного зондирования под скользящими углами», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы*

Оперативное получение и анализ информации о состоянии поверхности и подповерхностных слоев океана необходимы для безопасного ведения хозяйственной деятельности человека в водных акваториях, в частности, судоходства, добычи полезных ископаемых, подводного и надводного строительства и т.д., а также и для обнаружения негативных последствий этой деятельности (решение задач экологии). Диссертационная работа Ермошкина Алексея Валерьевича посвящена вопросам исследования морской поверхности методом радиолокационного зондирования при скользящих углах наблюдения. Такие углы реализуются при работе радиолокационных станций (РЛС) с неподвижных береговых оснований, нефтяных или исследовательских платформ, а также с судов. Такой метод зондирования позволяет иметь высокое пространственное разрешение при длительном периоде наблюдений тем самым исследовать процессы в широкой гамме временных интервалов, оказывающие влияние на морскую поверхность. Актуальность выбранной темы не оставляет сомнений поскольку данные дистанционного зондирования являются основным источником информации о процессах, протекающих на границе океана и атмосферы. Выбранный метод диагностики позволяет решать разнообразные океанологические задачи, такие как определение скорости приводного ветра, определение параметров ветровых и волн зыби, определение параметров внутренних волн, идентификация загрязнений на морской поверхности. РЛ зондирование обладает рядом преимуществ, которые позволяют проводить измерения в сложных метеорологических условиях и в темное время суток.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Во введении описывается современное состояние рассматриваемых в диссертации вопросов, обосновываются актуальность и практическая значимость выбранной темы работы, кратко излагается содержание и формулируются положения, выносимые на защиту.

В первой главе содержится обзор литературы по исследуемым в диссертации вопросам. В диссертационной работе используются общепринятые теоретические модели, основные выражения которых приводятся в этой главе. В § 1.1 рассмотрены теоретические основы радиолокационного зондирования морской поверхности, описывается двухмасштабная модель рассеяния радиоволн поверхностью моря, которая применима в широком диапазоне углов зондирования, длин радиоволн и скоростей ветра. В § 1.2 рассмотрены вопросы рассеяния радиолокационных сигналов под скользящими углами зондирования, отмечено, что наряду с резонансным рассеянием необходимо учитывать вклад нерезонансных компонент рассеяния, таких как рассеяние на заостренных гребнях обрушающихся волн, на самих обрушениях, на пене и брызгах. Наибольшее влияние перечисленные явления оказывают на рассеяние радиоволн



сантиметрового и миллиметрового диапазона длин волн при скользких углах зондирования, а в дециметровом и метровом диапазоне радиоволн таким рассеянием можно пренебречь. Полуэмпирические модели рассеяния позволяют решать обратную задачу радиолокационного зондирования – восстановление параметров рассеивающей поверхности и детектирование явлений, вызывающих возмущение морской поверхности. Параметры шероховатости морской поверхности связаны не только с полем приводного ветра, но и с полем приповерхностного течения. В § 1.3 приводятся уравнения, описывающие трансформацию спектра ветрового волнения в поле неоднородного течения, представлены результаты экспериментальных исследований проявлений неоднородных течений на морской поверхности по данным радиолокационного зондирования под скользкими углами. В § 1.4 описывается эволюция интенсивных внутренних волн (ИВВ) в шельфовой зоне морей. В § 1.5 содержится заключение к первой главе.

Во второй главе автором развиваются модели обратного радиолокационного рассеяния на взволнованной морской поверхности под скользкими углами зондирования и алгоритмы восстановления параметров подстилающей поверхности. Численные расчеты проводятся автором для удельной эффективной площади рассеяния взволнованной водной поверхности на основе двухмасштабной модели рассеяния электромагнитных волн с учетом влияния обрушений ветровых волн при углах падения  $\theta \geq 80^\circ$ . При моделировании рассеяния радиолокационных сигналов для описания морской поверхности был выбран спектр Elfouhaily. В § 2.1 обсуждается разработка эмпирико-теоретической модели рассеяния радиолокационных сигналов морской поверхностью применительно к скользким углам зондирования. Для описания доли морской поверхности, покрытой обрушениями, было предложено эмпирическое выражение как функция скорости ветра на стандартной высоте. В § 2.2 разрабатываются алгоритмы определения кинематических параметров ветрового волнения, волн зыби и определения параметров приводного ветра с движущегося судна. С помощью разработанных алгоритмов радиолокационного зондирования в экспериментах обнаружен новый эффект – переход от режима растекания пленки ПАВ к режиму ее сжатия с последующим установлением стационарного состояния – стационарного масштаба пятна, который описан в § 2.3. Приведены результаты наблюдений эффекта компрессии пленки, предложено физическое объяснение эффекта, основанное на действии индуцированных ветровыми волнами напряжений, а также учете изменения характеристик пленки в процессе ее растекания. В § 2.4 приводится заключение ко второй главе.

В третьей главе содержатся результаты теоретических и экспериментальных радиолокационных исследований проявления неоднородных течений на морской поверхности. В § 3.1 приведено описание и результаты комплексных натурных экспедиций по исследованию трансформации поверхностного волнения в поле неоднородных течений. Локализованное двумерно-неоднородное течение возникло при обтекании приливным потоком двумерно неоднородного рельефа дна. Приводятся результаты натурных измерений характеристик приводного слоя атмосферы, морской поверхности и поля неоднородного течения. В § 3.2 приводятся результаты теоретического моделирования влияния неоднородного течения, измеренного в натуральных условиях, на характеристики поверхностного волнения на основе решения кинетического



уравнения для спектральной плотности волнового действия поверхностных волн. В § 3.3 проведено сопоставление результатов теоретического моделирования с экспериментальными данными по радиолокационному зондированию под скользящими углами. Наблюдаемые в натуральных экспериментах пространственно-неоднородные распределения мощности радиолокационного сигнала объясняются с помощью результатов теоретического моделирования. В § 3.4 содержится заключение к третьей главе.

Четвертая глава посвящена приближенному описанию эволюции солитонов ИВВ в шельфовой зоне и теоретическим расчетам их радиолокационных портретов. В § 4.1 на основе поиска решения уравнения Гарднера в приближенном представлении солитона ИВВ в виде суперпозиции кинков (перепадов поля) разной полярности удается описать эволюцию поля ИВВ при меняющихся параметрах уравнения Гарднера. Получены амплитуды поля ИВВ в произвольные моменты времени при заданном законе изменения параметров среды. В § 4.2 проведен расчет поля течения на поверхности моря, создаваемого солитоном ИВВ в разные моменты времени. На основе разработанной модели радиолокационного рассеяния и кинетического уравнения для спектральной плотности волнового действия поверхностных волн в § 4.3 теоретически рассчитаны радиолокационные портреты ИВВ в шельфовой зоне, которые могут быть зарегистрированы береговыми РЛС. В § 4.4 содержится заключение к четвертой главе.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Автором выполнен большой объем теоретических и экспериментальных исследований, численного моделирования и получен целый ряд новых и значительных результатов. Экспериментальные работы всегда большой труд и всегда требуют большого напряжения человеческих усилий для достижения намеченных целей. Автор непосредственным образом участвовал во всех описанных экспериментах и занимался обработкой экспериментальных данных. Особо хочется отметить высокую степень экспериментальной обоснованности, достоверности и новизны полученных автором результатов. Экспериментальная основа работы обширна и репрезентативна. Автором проведено квалифицированное теоретическое исследование по анализу особенностей формирования рассеяния радиолокационных сигналов под скользящими углами зондирования.

Отмечу некоторые замечания по диссертационной работе:

1. В работе не обосновывается использование спектра волнения Elfouhaily.

2. Сравнение экспериментальных данных в §2.2 со спектром Пирсона-Московица некорректно, поскольку этот спектр хорошо описывает крупномасштабное волнение, а брэгговское рассеяние чувствительно к менее масштабным компонентам волнения, также использование угловой функции Артура не совсем корректно, поскольку она симметрична относительно направления "поперек ветра", а результаты эксперимента демонстрируют асимметрию по отношению к ветру.

3. В §2.3 подробно описан эксперимент с разливом раствора ПАВ на поверхность воды и наблюдение динамики пятна по радиолокационному сигналу, приведена теория эффекта компрессии пленки на достаточно больших временах растекания, однако не приведено сравнение эксперимента с теорией, которая так активно обсуждается в тексте.



4. В §3.1 на рисунке 3.3 не понятно по каким данным получено пространственное распределение приповерхностного течения, тоже самое можно отнести к рисунку 3.5, в котором показаны профили скорости и направления течения во время смены фазы прилива.

5. В главе 3 в качестве невозмущенного спектра при численном моделировании используется пространственный спектр JONSWAP и опять без всяких обоснований. Здесь же сравниваются результаты, полученные для скорости ветра 4 м/с, в то время, как ранее была продемонстрирована абсолютная нечувствительность результатов моделирования ЭПР к таким скоростям ветра (для настильных углов с разными возрастами волн в модели Elfouhaily).

6. В Диссертационной работе очень мало количественных оценок, только качественные, практически нигде нет сравнения (количественного или графического) эксперимента и теории, а там, где есть количественные оценки нет их доверительных интервалов.

Отмеченные замечания не снижают ценность рецензируемой работы. Полученные в работе данные натурных экспериментов, а также результаты многочисленных модельных расчетов позволяют сделать заключение о достоверности выводов и рекомендаций, о возможности использования разработанных Ермошкиным А.В. методик для постоянного мониторинга морской поверхности с судов и береговых оснований. Диссертация представляет собой серьезное законченное и значимое научное исследование. Она имеет научную и практическую ценность, вносит значительный вклад в развитие методов дистанционного исследования морской поверхности, написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы.

По теме диссертации опубликовано 25 печатных работ, из которых 9 работ в журналах из списка ВАК, 10 - в трудах международных и российских конференций. Результаты диссертации неоднократно обсуждались на различных конференциях и получили одобрение ведущих специалистов. Автореферат написан понятным языком, хорошо организован, полностью соответствует содержанию работы и наглядно отражает основные результаты, полученные автором.

В целом, несмотря на отмеченные недостатки, считаю, что работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, А.В. Ермошкин, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Заведующий лабораторией микроволновой радиометрии ИКИ РАН

кандидат физико-математических наук

адрес г. Москва, ул. Автозаводская д.2 кв.35,

тел.: +7-916-921-6370,

Е-мэйл [Alexey/kuzmin@asp.iki.rssi.ru](mailto:Alexey/kuzmin@asp.iki.rssi.ru)

Подпись Кузьмина А.В. заверяю

Ученый секретарь ИКИ РАН, д. ф.-м.н.



/А.В. Кузьмин/

“ 9 ” октября 2017 года

/А.В. Захаров/