

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки

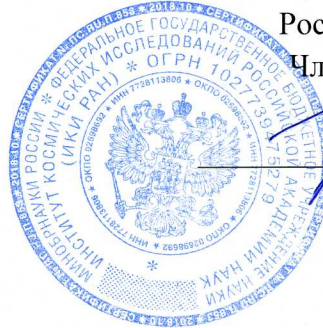
Института космических исследований

Российской академии наук,

Член-корреспондент РАН


А.А. Петрукович

«15» сентября 2022



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований РАН (ИКИ РАН) на диссертационную работу Панфиловой Марии Андреевны на тему «Восстановление параметров волнения, скорости приводного ветра и положения ледяного покрова по данным дистанционного зондирования в СВЧ диапазоне при малых углах падения», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы.

1. Актуальность темы исследования

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Панфиловой Марии Андреевны посвящена актуальной теме ДЗЗ – применению радиолокационных спутниковых комплексов для решения задач восстановления характеристик поверхности океана.

На данный момент основными источниками информации о поле приводного ветра, морском волнении и состоянии ледяного покрова являются средства дистанционного зондирования, установленные на орбитальных носителях. Треки спутников покрывают практически всю площадь Мирового океана, что позволило перейти от точечных измерений морскими буями и измерений с кораблей вдоль судоходных трасс к полномасштабному исследованию динамики атмосферы и океана. Новые возможности изучения взаимодействия атмосферы и океана стали существенным шагом в развитии океанографии, а также моделирования и прогнозирования атмосферных процессов и процессов на поверхности океана.

Среди приборов, установленных на спутниках, особо выделяются активные радиолокационные системы СВЧ-диапазона. Электромагнитные волны сантиметрового диапазона проходят сквозь облака, что позволяет получать информацию независимо от погодных условий, а также от времени суток. Также важным достоинством активных спутниковых систем является высокое пространственное разрешение.

Орбитальные радиолокаторы могут выполнять измерения при малых и средних углах падения, и выбор углов падения в значительной степени определяется решаемой задачей. Информация о состоянии морской поверхности и приводном слое атмосферы может быть получена при анализе мощностных или спектральных характеристик отраженного сигнала, а также формы отраженного импульса.

Большие объемы радиолокационных измерений при малых углах падения, отличных от нулевого, в диапазоне $0-18^\circ$ стали доступны исследователям относительно недавно – в начале 2000-х годов. Это были данные радиолокатора Ku-диапазона, установленного на спутнике TRMM, который был выведен на орбиту в 1997 году. В 2014 был запущен спутник GPM с двухчастотным радиолокатором Ku- и Ka-диапазонов на борту. В 2018 году на орбиту был выведен радиолокатор Ku-диапазона SWIM на спутнике CFOSAT.

Было показано, что по измерениям при малых углах падения в рамках приближения геометрической оптики возможно определение дисперсии уклонов крупномасштабного волнения. Однако стандартных алгоритмов определения дисперсии уклонов в полосе обзора радиолокаторов нет.

Важной проблемой дистанционного зондирования морской поверхности является мониторинг нефтяных загрязнений. Ряд работ посвящен разработке моделей гашения коротких волн нефтяной пленкой и лабораторному исследованию этого процесса. Также имеются работы по детектированию разливов нефти по данным РСА. При этом стоит отметить, что данных о дисперсии уклонов в области слика по измерениям в СВЧ-диапазоне ранее получено не было.

Также нет стандартного подхода для определения скорости ветра при малых углах падения. Разработан ряд алгоритмов определения скорости ветра по геофизическим модельным функциям для фиксированных углов падения. Однако, при углах падения $8-10^\circ$ удельная эффективная площадь рассеяния мало чувствительна к изменениям шероховатости морской поверхности. Для решения этой проблемы необходимо использовать информацию о зависимости УЭПР от угла падения.

Детектирование ледяного покрова по измерениям при малых углах падения проводилось по энергетике отраженного сигнала, однако, данные о статистике уклонов для решения этой задачи не использовались.

В связи с этим, диссертационное исследование Панфиловой Марии Андреевны представляется актуальным, поскольку предложенный в ней подход, основанный на исследовании угловой зависимости УЭПР, был развит и применен для определения полной дисперсии уклонов (в том числе в области разлива нефти), скорости приводного ветра и положения ледяного покрова.

2. Выносимые на защиту научные положения

Автором диссертации сформулировано четыре новых научных результата:

1. Полная дисперсия уклонов крупномасштабного волнения (равная сумме дисперсий уклонов в двух взаимно перпендикулярных направлениях) может быть восстановлена в полосе обзора сканирующего радиолокатора при малых углах падения.
2. При использовании данных об угловой зависимости УЭПР скорость приводного ветра определяется даже в тех областях полосы обзора, где исходный сигнал слабо коррелирует со скоростью ветра.

3. Зависимость полной дисперсии уклонов по данным Ku-диапазона в нефтяном слике от скорости приводного ветра близка к измерениям в оптическом диапазоне.
4. Коэффициент эксцесса плотности вероятности уклонов является критерием для классификации типа подстилающей поверхности: вода или ледяной покров.

Стоит отметить, что положения, выносимые на защиту, достаточно полно отражены в опубликованных работах.

3. Новизна научных результатов

Показано, что по данным радиолокатора, сканирующего при малых углах падения, можно определить полную дисперсию уклонов (равную сумме дисперсий уклонов в двух взаимно перпендикулярных направлениях) крупномасштабного, по сравнению с длиной зондирующего излучения, волнения.

Впервые получена зависимость дисперсии уклонов по данным радиолокатора Ku-диапазона от скорости ветра в области нефтяного слика.

Показано, что алгоритм определения скорости ветра по сигналу, пересчитанному к нулевому углу падения, позволяет восстановить скорость ветра даже в тех областях полосы обзора, где исходный сигнал слабо коррелирует со скоростью ветра, и где не работают алгоритмы, основанные на геофизических модельных функциях для каждого угла падения в отдельности.

Впервые показана работоспособность экспресс-методики определения положения ледяного покрова с опорой на геометрические свойства подстилающей поверхности.

4. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений подтверждается следующим:

Автором проведен детальный анализ научной литературы (всего – 112 источников); рассмотрены теоретические основы формирования радиолокационных сигналов, отраженных морской поверхностью для малых углов падения; проведено сопоставление полученных результатов с данными других приборов для дистанционного зондирования, а также с результатами численного моделирования.

Сформулированные по результатам работы выводы апробированы и получили положительные заключения на конференциях и конгрессах.

Результаты работы были опубликованы в рецензируемых журналах, а так же в трудах и тезисах Всероссийских и Международных конференций.

5. Значимость результатов исследования для теории

Теоретическая ценность работы состоит в разработке нового подхода, позволяющего определять величину полной дисперсии уклонов водной поверхности по радиолокационным измерениям при малых углах падения. Данные о дисперсии уклонов, полученные по всему земному шару, могут применяться для валидации численных моделей волнения и исследования процессов взаимодействия атмосферы и океана.

6. Практическая значимость результатов работы:

В рамках выполнения диссертационной работы автором разработаны алгоритмы определения дисперсии уклонов, скорости приводного ветра и положения ледяного

покрова по данным радиолокаторов, функционирующих в настоящее время на спутниках TRMM и GPM. В свою очередь, данные о дисперсии уклонов могут применяться для дистанционной диагностики разливов нефти на морской поверхности.

Скорость приводного ветра, восстановленная в полосе обзора радиолокатора, может использоваться для расчетов прогноза погоды, анализа изменений климата, а также планирования строительства ветровых электростанций.

Разработанный алгоритм определения положения ледяного покрова не требует точной калибровки радиолокатора и может быть применен для уточнения существующих методик детектирования морского льда.

7. Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 112 страниц с 49 рисунками. Список литературы содержит 112 наименований, включая работы автора.

Во введении обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме, формулируется цель, ставятся задачи работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость представляемой работы.

В первой главе автором изложены основные условия, при которых справедливо приближение геометрической оптики, приводится выражение для зависимости удельной эффективной площади рассеяния от угла падения при малых углах падения. Приведены модели УЭПР для морского льда. Дан краткий обзор экспериментальных работ по измерению УЭПР при малых углах падения. Основное внимание уделено результатам анализа данных сканирующих радиолокаторов на спутниках TRMM и GPM.

Во второй главе автор дает описание алгоритма обработки данных сканирующих радиолокаторов на спутнике GPM. Приведены результаты численного моделирования измерений радиолокатора с учетом уровня шума в реальных данных, оценивается точность восстанавливаемых параметров. Описан метод определения полной дисперсии уклонов, равной сумме дисперсий уклонов в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Приведен пример обработки данных радиолокатора Ku-диапазона на спутнике GPM вблизи тайфуна Хагибис. Также построены глобальные поля уклонов по данным DPR Ku-диапазона, накопленным за июль и январь 2018 года. Проведено сравнение результатов численного моделирования волнения по модели WAVEWATCH III с измерениями радиолокатора Ka-диапазона на спутнике GPM.

В третьей главе автором представлены результаты по определению дисперсии уклонов в области нефтяного слика, образовавшегося в результате аварии на платформе Deepwater Horizon в Мексиканском заливе в апреле 2010 года. Проведен анализ распределения УЭПР в области слика. Приводится зависимость контраста УЭПР от скорости ветра.

В четвертой главе рассматривается вопрос о восстановлении скорости ветра по данным радиолокатора на спутнике GPM. Представлен алгоритм определения скорости ветра, построенный по данным DPR в Ku-диапазоне. Проведено сравнение полученных результатов с данными скаттерометра ASCAT. Приведен локальный пример определения скорости ветра для Адриатического моря. Рассмотрены вопросы точности восстановления поля ветра с использованием разработанной методики.

В пятой главе автором представлены результаты применения радиолокационных данных для детектирования ледового покрова. Рассмотрен вопрос об определении границ ледового покрова. Обсуждается вопрос о виде угловой зависимости УЭПР для взволнованной и покрытой льдом морской поверхности. Описана методика определения граничного значения коэффициента эксцесса для классификации типа подстилающей поверхности (вода или лед).

В заключении приведены основные результаты исследования.

В приложении А представлена модель спектра волнения, использованная в ходе математического моделирования.

В приложении Б дано техническое описание радиолокаторов на спутниках TRMM и GPM.

8. Полнота публикаций и апробация результатов исследования

Публикации, приведённые в автореферате и диссертации, непосредственно и достаточно полно отражают сущность вынесенных на защиту научных результатов.

Результаты работы приведены в 6 статьях, опубликованных в научных журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных Президиумом Высшей аттестационной комиссии, 21 – в статьях в сборниках трудов и тезисах докладов.

Результаты диссертации были использованы в ходе научно-исследовательских работ в рамках грантов РФФИ и РНФ.

Отдельные положения, выносимые на защиту, неоднократно докладывались на конференциях и конгрессах 2018–2022 гг.

Изложенное позволяет сделать вывод о достаточной полноте представления научных результатов диссертации в опубликованных автором работах и о хорошей апробации полученной научной продукции.

9. Рекомендации по использованию полученных результатов

Полученные в диссертации научные результаты целесообразно использовать:

- при обработке данных спутниковых радиолокаторов с малыми углами падения;
- для валидации численных моделей спектра ветровых волн;
- для уточнения существующих методик детектирования морского льда;
- для дистанционной диагностики разливов нефти на морской поверхности;
- для корректировки алгоритмов определения поля ветра в прибрежных районах.

Диссертация и автореферат не лишены **недостатков**, основными из которых являются следующие:

1. После ознакомления с теоретической частью диссертации кажется странным следующий факт. Диссертант приводит значительное количество соотношений, связывающих измерения радиолокатора с параметрами волнения. С этой точки зрения, ожидаемым было бы увидеть в итоговых соотношениях указанные параметры волнения и хорошо известный коэффициент отражения Френеля. Диссертант же, вместо этого, вводит понятие «эффективного коэффициента отражения» (описание которого, как и соответствующие соотношения, в тексте отсутствуют), который, по словам автора, также зависит от параметров волнения. Логичным кажется вынесение этой зависимости (от

параметров волнения) так же «за скобки». Нарушение этой логики существенно затрудняет восприятие дальнейшего материала.

2. Одним из выводов, сделанных диссертантом, является положение о том, что коэффициент эксцесса плотности вероятности уклонов является критерием для классификации типа подстилающей поверхности - вода или ледяной покров. Доказательству этого факта уделено значительное внимание в рукописи. Однако из текста диссертации так и непонятно – как это должно работать на практике? Как это положение может быть использовано при обработке данных спутниковых радиолокаторов с поперечным сканированием? Результат относится ко всем измерениям, составляющим половину полосы обзора?

3. В комментариях к рисунку 2.8 указано, что угол между направлением сканирования и направлением распространения волнения равномерно распределен в диапазоне от 0 до 180 градусов. Однако в тексте рукописи отсутствуют доказательства этого факта. Откуда это известно?

4. При описании двухмасштабной модели волнения диссертант утверждает, что граничные волновые числа (отделяющие крупномасштабную часть спектра от мелкомасштабной) зависят от состояния волнения. В общем случае, данное утверждение требует пояснений, поскольку непонятно – как состояние отражающей поверхности влияет на физику процесса отражения электромагнитного излучения?

5. При обработке данных измерений радиолокатора в области нефтяного слика, образовавшегося в результате аварии на платформе Deepwater Horizon в Мексиканском заливе в апреле 2010 года, диссертант, хоть и использует, но не определяет в тексте конкретное значение «эффективного коэффициента отражения». Чему оно равно и как оно было определено?

6. В пятой главе, на рисунке 5.4 автор сравнивает радиолокационные данные с полем радиояркостной температуры канала 36.6 ГГц горизонтальной поляризации радиометра AMSR2. На основании этого сравнения делается вывод о том, что данные DPR позволяют определять кромку ледяного покрова. Гораздо корректнее было бы сравнить данные DPR с каким-нибудь другим алгоритмом (ASI, NT, NT2 и т.п.), т.к. поле радиояркостной температуры одного канала плохо отображает сплоченность ледяного покрова.

Отмеченные недостатки не снижают общую положительную оценку работы.

10. Выводы

Диссертационное исследование Панфиловой Марии Андреевны на тему «Восстановление параметров волнения, скорости приводного ветра и положения ледяного покрова по данным дистанционного зондирования в СВЧ диапазоне при малых углах падения» выполнено на достаточно высоком теоретическом уровне и представляет собой законченную квалификационную работу, результаты которой вносят вклад в теоретические и практические представления о методах восстановления геофизических параметров поверхности океана на основе данных радиолокационных измерений.

Полученные научные результаты соответствуют паспорту научной специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы»:

п. 5. Строение и физика океана.

п. 7. Воды океанов, морей и водоемов суши.

п. 8. Взаимодействие гидросферы, атмосферы и литосферы.


11. Заключение

Представленная диссертация «Восстановление параметров волнения, скорости приводного ветра и положения ледяного покрова по данным дистанционного зондирования в СВЧ диапазоне при малых углах падения» по своему объему актуальности, научной новизне и практической значимости отвечает всем требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.009.2013 г. № 824), предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Панфилова Мария Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

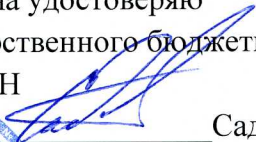
Отзыв на диссертацию заслушан, обсужден и одобрен на заседании отдела 55 ИКИ РАН «Исследование Земли из космоса», протокол № 2022-09 от «13» июля 2022 г.

Отзыв составлен:

к.ф.-м.н., доцент, с.н.с. ИКИ РАН  Садовский И.Н.

Заведующий отделом 55 ИКИ РАН,
доктор физико-математических наук  Ермаков Д.М.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН)
117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
+7(495) 333-52-12, факс +7(495) 333-12-48
e-mail: iki@cosmos.ru

Подпись Ермакова Дмитрия Михайловича удостоверяю
Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт космических исследований РАН
кандидат физико-математических наук  Садовский А.М.

