

УТВЕРЖДАЮ

директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Института физики  
атмосферы им. А.М.Обухова Российской академии  
наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН)

д.ф.-м.н., академик РАН

Мохов И.И.

« 13 » \_\_\_\_\_ октября 2017



## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Ермошкина Алексея Валерьевича

**«Диагностика приповерхностных процессов в океане на основе радиолокационного**

**зондирования под скользящими углами»,**

представленную на соискание ученой степени

*кандидата физико-математических наук*

*по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы*

Диссертационное исследование Ермошкина Алексея Валерьевича на тему «Диагностика приповерхностных процессов в океане на основе радиолокационного зондирования под скользящими углами» состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

**Актуальность** темы исследования объясняется возрастающей ролью дистанционного зондирования в исследовании процессов на поверхности океана. Применение дистанционных методов для получения оперативной информации о характеристиках поверхностного волнения, распределении загрязнения водной среды поверхностно-активными веществами (ПАВ), температуры поверхности океана, скорости ветра над морской поверхностью и поверхностных течений признается перспективным .

Для дистанционного контроля состояния морской поверхности используются оптические и радиолокационные средства. Оптические средства позволяют получить более подробную информацию об исследуемом объекте, основным преимуществом радиолокационных средств является их всепогодность и возможность получения информации в любое время суток при широкой полосе обзора (десятки километров - с авиационных и сотни километров - с космических носителей). Исследования, выполненные как в нашей стране, так и за рубежом, с использованием аэрокосмических носителей показали перспективность применения радиолокационных средств мониторинга Мирового океана. Одно из самых важных явлений на границе раздела «вода - воздух» - поверхностное волнение. Измерение характеристик поверхностных волн имеет большое практическое значение при составлении гидрометеорологических прогнозов, обеспечении безопасности судоходства, проведении мореходных испытаний кораблей и аварийно-спасательных работ, поиске и добыче полезных ископаемых на шельфе и в открытом море, а также для решения целого ряда экологических задач. Радиолокационные методы измерения поверхностного волнения основаны на связи характеристик радиосигналов, отраженных от моря, с параметрами поверхностных волн. Важным направлением практического использования радиолокационных методов является исследование загрязнения водной поверхности ПАВ, в первую очередь нефтепродуктами. Они позволяют контролировать распространение загрязнения при нефтяных разливах в случаях аварий, оперативно обнаруживать запрещенные сбросы нефтепродуктов. Радиолокационные методы обнаружения нефтяных загрязнений морской поверхности основаны на изменении структуры поверхностного волнения - образовании его аномалий (участков с пониженной плотностью высокочастотных составляющих волнения, называемых сликами) при воздействии ПАВ, что приводит к изменению характеристик отраженных морем радиосигналов. Явление обратного рассеяния радиоволн поверхностью моря изучено в настоящее время весьма подробно как экспериментально, так и теоретически. Однако, ряд особенностей процесса обратного рассеяния радиоволн СВЧ диапазона, существенных для решения проблем радиолокационного зондирования морской поверхности, исследованы еще недостаточно. Именно отсутствие адекватной модели рассеяния радиоволн сложной взволнованной поверхностью океана является одним из основных факторов, сдерживающих развитие и широкое применение

радиолокационных средств мониторинга Мирового океана. Возможности РЛ зондирования опираются на достижения экспериментальных и теоретических исследований физических особенностей рассеяния на взволнованной водной поверхности, которые существенно зависят от угла зондирования. Поэтому актуальность представленной работы не вызывает сомнений.

**Целью** работы является развитие метода радиолокационного зондирования морской поверхности под скользящими углами

Для достижения поставленной цели диссертантом были решены следующие задачи:

1. Развита эмпирико-теоретическая модель рассеяния на взволнованной морской поверхности СВЧ радиоволн горизонтальной поляризации при зондировании под скользящими углами.
2. Разработаны алгоритмы определения кинематических параметров ветрового волнения, скорости и направления ветра, оценки параметров пленочных загрязнений по данным судовых радиолокационных станций (РЛС).
3. Теоретически и экспериментально исследованы особенности радиолокационной диагностики областей неоднородного течения при скользящих углах зондирования.
4. Развита метод диагностики интенсивных внутренних волн по данным радиолокационного зондирования при скользящих углах.

Результаты диссертационного исследования подразумевают непосредственное использование разработанных методов и алгоритмов для дистанционной идентификации поверхностных загрязнений, определения кинематических параметров ветрового волнения, скорости и направления ветра в морских акваториях. Это показывает высокую **научную и практическую значимость** работы. Также в работе показана возможность использовать РЛС данные для диагностики ледовой обстановки и определения параметров штормового волнения.

Полученные диссертантом научные результаты реализованы в виде системы радиолокационного зондирования с борта судна и наземных постов.

Разработанная система радиолокационного зондирования использовалась в интересах Специализированного центра по гидрометеорологии и мониторингу

окружающей среды Черного и Азовского морей (СЦГМС ЧАМ Росгидромет) на Черном море в г. Сочи в течение 2013-2014 годов, а также в ходе десятка натуральных экспедиций на различных акваториях. Результаты диссертации были использованы в ряде ОКР, выполняемых в ИПФ РАН,

**Содержание**, представленной на отзыв диссертации, хорошо структурировано и соответствует поставленным цели и задачам, отражает заявленные автором исследовательские подходы и может быть оценено как полное описание аргументаций, выдвинутых соискателем положений на защиту.

Во **введении** обоснована актуальность темы работы, определены цели и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы, освещено современное состояние исследуемой проблемы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** содержится обзор литературы, посвященной исследуемой тематике. Рассмотрены теоретические основы радиолокационного зондирования морской поверхности. Дан детальный обзор теоретических моделей, используемых в радиолокации морской поверхности, рассмотрены особенности рассеяния под скользящими углами зондирования. Приводится обзор экспериментальных и теоретических исследований проявлений неоднородных течений и внутренних волн на морской поверхности.

Во **второй главе** приводится обоснование первого и второго и пятого положений, выносимых на защиту. **Глава** посвящена развитию модели радиолокационного рассеяния на взволнованной морской поверхности под скользящими углами зондирования и алгоритмов восстановления параметров подстилающей поверхности.

**Третья глава** содержит результаты теоретических и экспериментальных радиолокационных исследований проявления неоднородных течений на морской поверхности. Содержится описание и результаты комплексных натуральных экспедиций по исследованию трансформации поверхностного волнения в поле неоднородных течений. Наблюдаемые в натуральных экспериментах неоднородности радиолокационного сигнала объясняются результатами теоретического моделирования. (Положение 3 , выносимое на защиту).

**Четвертая глава** посвящена приближенному описанию эволюции солитонов интенсивных внутренних волн в шельфовой зоне и теоретическим расчетам их радиолокационных портретов. (положение 4).

В результате рассмотрения вопросов, поставленных в работе перед диссертантом, Ермошкин Алексей Валерьевич приходит к ряду заслуживающих поддержки выводов, отражённых в **заключении**.

1. Развита эмпирико-теоретическая модель рассеяния радиоволн СВЧ диапазона взволнованной водной поверхностью при скользящих углах зондирования. В модели учтено рассеяние от обрушивающихся ветровых волн, для чего предложено эмпирическое выражение, параметризующее зависимость площади морской поверхности, занятой обрушениями, от скорости ветра. Проведена апробация модели на большом массиве экспериментальных данных, полученных в натуральных условиях.
2. Развита метод радиолокационного зондирования морской поверхности под скользящими углами, заключающийся в использовании судовой РЛС и применении разработанных алгоритмов восстановления кинематических параметров ветрового волнения (направление распространения, длина и частота энергонесущей волны), скорости и направления ветра, оценки скорости течения по данным РЛС на неподвижном посту и на движущемся судне.
3. В ходе натуральных экспериментов на основе радиолокационного зондирования обнаружена особенность растекания пленочного загрязнения – остановка процесса растекания пятна пленки на поверхности воды, последующее сжатие пятна и переход к стационарному состоянию. Предложено физическое объяснение эффекта, в основе которого лежит учет индуцированных ветровыми волнами поверхностных напряжений, которые могут изменять режим растекания.
4. Развита метод диагностики областей неоднородных течений вблизи морской поверхности с помощью радиолокационного зондирования под скользящими углами. В ходе комплексных натуральных экспериментов были зарегистрированы аномалии на морской поверхности, связанные с влиянием локализованного двумерно-неоднородного течения. Данные аномалии получили свое объяснение в рамках проведенного численного моделирования трансформации ветрового волнения и мощности отраженного радиолокационного сигнала в поле измеренных двумерно-неоднородных течений.

5. Предложена модификация приближенного метода описания взаимодействия составных солитонов уравнения Гарднера для исследования эволюции интенсивных внутренних волн (ИВВ) в шельфовой области океанов и морей. На основе теоретического моделирования получены радиолокационные портреты проявления ИВВ на морской поверхности, которые позволяют проводить экспресс – оценки параметров ИВВ.

В двух приложениях приведены примеры использования разработанных методов для исследования взаимодействия морского волнения и льда в прикромочных зонах и определения характеристик ледяного покрова, а также для диагностики характеристик морского волнения в прибрежной зоне. Особенно стоит отметить огромный экспериментальный материал, собранный в акваториях с различными условиями взаимодействия атмосферы и водной поверхности, используемый автором в работе. Здесь и северные моря и прибрежные зоны, и внутренние водоемы и открытый океан.

Но работа не свободна от недостатков:

Прежде всего, присутствует некоторый перекокс в техническую часть решаемой проблемы. В диссертации был бы полезен раздел, содержащий основные сведения о поверхностном волнении, методах его моделирования и способах измерений характеристик морского волнения. Автор пишет, что Данные ДЗ являются основным источником информации о морском волнении, но это не совсем так. До сих пор все-таки основным источником информации являются данные волнографов и океанографических буюв. Отсутствует обзор определения характеристик ветрового волнения альтернативными дистанционными методами, например, оптическими. Было бы полезно сравнить получаемые характеристики морского волнения с результатами использования других методов. Сам обзор по радиолокации морского волнения достаточно скуден. Отсутствуют ссылки на многие ключевые отечественные и зарубежные работы, особенно выполненные в середине и конце прошлого века (работы Басса, Арманда и др.).

Не указано при каких характеристиках ветрового волнения возможно обнаружение сликов, и пороговые значения скорости ветра.

Разработанные автором методики отрабатываются по данным краткосрочных измерительных кампаний в определенных районах океана. Насколько они универсальны? Возможно ли применение методик восстановления характеристик волнения и выявления

пленочных загрязнений при слабом волнении, когда происходит формирование спектра доплеровских частот и уменьшение контрастов.

Жаль, что очень интересный раздел о взаимодействии льда и морского волнения вынесен в приложение и носит чисто описательный характер.

Так же на основании собранного автором обширного экспериментального материала было бы интересно проследить различия формирования ветрового волнения в открытом океане и в прибрежной зоне, например, при береговых ветрах.

В заключении хотелось бы сказать, что высказанные замечания имеют в основном дискуссионный и рекомендательный характер, и не умоляют общую положительную оценку проделанной соискателем работы.

Основные положения диссертации отражены в её автореферате, 20 научных статьях изданий из списка ВАК, а также прошли обсуждения на более чем 20 российских и зарубежных конференциях.

Диссертация представляет собой результат тщательного научного исследования, выполненного на высоком профессиональном уровне и отличающегося новизной предложенных методов и подходов к решению поставленных задач. Особенно хочется отметить, что диссертация написана очень четко и аргументировано хорошим языком. Изложение автора отличается стройностью и обоснованностью выводов.

Результаты, полученные автором, представляют интерес для организаций РАН (ИОРАН, ИФА, ИПФ, ИВМ, ИПМ, ИВП, ИКИ), Росгидромета (ГОИН, ААНИИ, ГГО, ИПГ) и других, занимающихся океанологическими и прикладными исследованиями. Изложенные в работе результаты могут быть применимы для задач анализа океанских и атмосферных процессов по данным дистанционного зондирования и мониторинга поверхностных загрязнений на акватории мирового океана.

Обобщая содержание отзыва можно утверждать, что диссертационная работа А.В. Ермошкина представляет самостоятельное, законченное и серьезное научное исследование, соответствующее мировым стандартам в области геофизических исследований. Основные цели диссертационной работы достигнуты. Положения, выносимые на защиту, в совокупности составляют научное достижение, сутью которого является развитие метода РЛ зондирования морской поверхности под скользящими углами. Разработанные в настоящей работе методы РЛ зондирования морской

поверхности и алгоритмы восстановления характеристик подстилающей поверхности могут использоваться для дистанционного измерения кинематических параметров морского волнения, скорости и направления приводного ветра, определения областей неоднородного течения, идентификации пленочных загрязнений и интенсивных внутренних волн в шельфовой зоне по данным радиолокационного зондирования под скользящими углами при проведении исследований со стационарного поста или с борта движущегося судна.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертационной работы.

Представленная диссертация «Диагностика приповерхностных процессов в океане на основе радиолокационного зондирования под скользящими углами», отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Ермошкин Алексей Валерьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

Отзыв подготовлен:

Заведующая лабораторией взаимодействия атмосферы и океана Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук

Доктор физико-математических наук  
Репина Ирина Анатольевна

Работа была доложена и одобрена на семинаре Отдела динамики атмосферы ИФА им. А.М. Обухова РАН 20 апреля 2017 г. (протокол семинара № 7/17).

Заведующий Отделом динамики атмосферы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук

Академик  
Голицын Георгий Сергеевич

Отзыв заверен:

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук

Кандидат географических наук  
Краснокутская Людмила Дмитриевна