

125009, г. Москва,
ул. Моховая, д. 11, Корп. 7,
ФГБУН «Институт радиотехники и
электроники им. В.А. Котельникова
Российской академии наук
Диссертационный совет Д002.231.01

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Сазонова Дмитрия Сергеевича
МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАДИОТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ВЗВОЛНОВАННОЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ: АНАЛИЗ СПУТНИКОВОЙ
ИНФОРМАЦИИ И НАДВОДНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.03 – Радиоп физика

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, температуры поверхности океана, скорости и направления ветра над морской поверхностью и поверхностных течений признается перспективным. Для дистанционного контроля состояния морской поверхности используются оптические и радиометрические средства. Оптические средства позволяют получить более подробную информацию об исследуемом объекте, основным преимуществом радиометрических средств является их всепогодность и возможность получения информации в любое время суток при широкой полосе обзора. Пассивное микроволновое зондирование Земли с ИСЗ в настоящее время является одним из главных инструментов получения ежедневной информации о глобальном состоянии метеорологических полей нашей планеты. Данные микроволновых радиометров, находящихся на орбите, используются для восстановления характеристик приводного ветра, влагосодержания атмосферы, температуры и солености океана, сплоченности и структуры ледяного покрова, снежного покрытия, водозапаса почвы и многих других параметров. Относительно длинные ряды наблюдений, в частности с использованием однотипных радиометров SSMR-SSM/I-SSMIS позволяют получить ряды данных за климатический период более 30 лет. Но все характеристики атмосферы и морской поверхности являются результатами расчетов, точнее, решения обратной задачи, связывающей характеристики излучения на определенной частоте с определяемыми параметрами. Разработка четких алгоритмов интерпретации спутниковых данных является актуальной задачей для оперативной океанографии, прогноза изменений погоды и климата и оценки состояния экосистем планеты. А для этого необходимо проведение наземно-дистанционных

исследований и специализированных подспутниковых экспериментов, а также разработка новых моделей на основе теории переноса излучения и спутниковых данных. Но существующие в настоящее время модели еще далеки от совершенства. Исследование ветрового климата планеты интересно не только с климатической точки зрения – ветер служит главной разрушительной силой при опасных метеорологических явлениях и индикатором многих процессов, связанных с атмосферной циркуляцией.

Основной целью диссертационной работы Сазонова Д.С. является исследование взаимосвязи собственного радиоизлучения взволнованной водной поверхности с полем приводного ветра и разработка многопараметрической модели переноса излучения от морской поверхности в различных фоновых условиях на определенной частоте, а также разработка алгоритма дистанционного определения направления ветра на основе микроволновых измерений. С учетом вышесказанного, данная задача является актуальной.

Содержание диссертационного исследования

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Во введении раскрывается актуальность диссертационной работы, сформулированы ее цели и задачи, показана научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе представлен детальный обзор литературы и предыдущих исследований по теме работы. Используются данные самолетных, спутниковых, наземных и лабораторных экспериментов, работы отечественных и зарубежных исследователей. Приведен список основных микроволновых приборов спутникового базирования и дан обзор задач, решаемых с помощью радиометрии. Выявлены основные закономерности излучения взволнованной водной поверхности, разная степень чувствительности поляризованного излучения к геометрии поверхности и, следовательно, к скорости ветра. Обоснованность полученных результатов подтверждается их сравнением с результатами аналогичных экспериментов и данными моделирования. Экспериментально доказана связь собственного радиотеплового излучения взволнованной водной поверхности на частоте в 37,5 ГГц со скоростью и направлением приводного ветра и температурой воды.

Во второй главе представлены результаты многолетних наземно-дистанционных экспериментальных исследований собственного излучения морской поверхности в прибрежной зоне Черного моря. Детально изложены методика проводимых экспериментов, характеристики измерительной аппаратуры, методы обработки данных.

В третьей главе представлена разработанная на основе проведенных экспериментальных исследований многопараметрическая модель радиотеплового излучения водной поверхности на частоте 37,5 ГГц MiROSE-а. Проведенный корреляционный анализ

показал, что модель может быть применена для восстановления скорости приводного ветра и температуры воды по угловым радиополяриметрическим измерениям.

В четвертой главе предложен алгоритм определения направления ветра по многочастотным радиополяриметрическим измерениям собственного радиотеплового излучения. В качестве примера использования алгоритма показан пример восстановления поля ветра на основе спутниковых измерений прибором WindSat. Сравнение с другими алгоритмами показало, что поле ветра восстанавливается достаточно адекватно, как при использовании радиометрических наблюдений на одной частоте, так и при совместных многочастотных измерениях.

В Заключении приведены основные результаты и выводы работы.

Основные результаты и их новизна:

1. Проведен анализ экспериментальных радиополяриметрических данных на частоте 37,5 ГГц, полученных в период с 2005 по 2016 годы. В результате анализа установлена взаимосвязь между величиной радиационно-ветровой зависимости, скоростью ветра и температурой поверхности воды.
2. Получены результаты моделирования радиационно-ветровой зависимости собственного радиотеплового излучения взволнованной водной поверхности в рамках двухмасштабной модели волнения использующей спектр волнения в области гравитационно-капиллярных волн. В результате расчетов получены модельные оценки величины радиационно-ветровой зависимости собственного излучения взволнованной водной поверхности.
3. Получены результаты сравнения модельных расчетов и экспериментально измеренных значений радиационно-ветровой зависимости в рамках совместного корреляционного анализа и анализа невязок в широком диапазоне скоростей приводного ветра и вертикальных углов наблюдения. Результаты сравнения показали, что в большинстве случаев модельные расчеты сходятся с экспериментом.
4. Разработана регрессионная модель собственного радиотеплового излучения взволнованной водной поверхности в микроволновом диапазоне длин волн на основе экспериментальных измерений радиационно-ветровой зависимости
5. Разработан и проверен алгоритм определения направления ветра по спутниковым измерениям третьего параметра Стокса в двух полосах обзора микроволнового радиометра-спектрометра.

Все результаты, выносимые на защиту в данной работе, впервые получены диссертантом. Разработанные методы и модели для расчета характеристик атмосферы по данным самолетного зондирования прошли успешную апробацию на натурных экспериментах. Результаты диссертационной работы внедрены в практику самолётных

исследований.

Степень обоснованности научных положений и достоверность полученных результатов

Автором изучены и проанализированы известные методы для восстановления характеристик приводного ветра по данным радиотепловых измерений. Список использованной литературы содержит 85 наименований. Достоверность результатов экспериментов, моделирование и выводов, сформулированных на их основе, обеспечивается подробными описаниями методик измерения и процесса обработки информационных сигналов, а также совместным использованием натуральных, лабораторных и модельных данных.

По теме диссертации опубликовано 35 работ, из них 7 – в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК. Результаты исследований докладывались на научных семинарах, российских и международных конференциях.

Ценность для науки и практики результатов работы

Дистанционные измерения являются одним из важнейших источников информации о термодинамическом состоянии атмосферы и морской поверхности. Полученная на их основе информация о скорости и направлении приземного ветра, температурном режиме приводного (приземного) слоя атмосферы и поверхности, влажности и водозапаса позволяют оценивать изменчивость климатической системы нашей планеты, своевременно диагностировать и прогнозировать особо опасные погодные явления. Разработанные автором методики и алгоритмы восстановления скорости и направления ветра по данным радиотеплового зондирования могут быть применены при анализе данных как спутниковых, так и наземно-дистанционных наблюдений. Предложенная многопараметрическая модель микроволнового излучения взволнованной водной поверхности MiROSE-a может быть применена для получения предварительных (экспресс) оценок скорости и направления ветра, температуры поверхности воды непосредственно в ходе экспериментальных измерений. Разработанный автором алгоритм восстановления направления ветра будет применен в космическом эксперименте КЭ "Конвергенция" для обработки многочастотных радиополяриметрических измерений.

Замечания по диссертационной работе в целом

Первое замечание касается терминологии. Термин «стабильность атмосферы» лучше заменить на «устойчивость» или «стратификацию». И в физике атмосферы стратификацию разделяют не на положительную или отрицательную, а устойчивую и неустойчивую.

В тексте постоянно присутствует «Связь радиационно-ветровой зависимости со скоростью ветра...» Но если она радиационно-ветровая, то связана со скоростью ветра уже по определению. Этот термин мне кажется не очень удачным.

Автор утверждает, что «С момента запуска первого радиометра на спутнике «Космос-243» началась эра дистанционного зондирования Земли из космоса». Это утверждение не совсем верно. Начало дистанционного зондирования было положено 1 апреля 1960 года, когда американский спутник TIROS 1 сделал первый метеорологический снимок Земли. Также спорно и не очень уместно в диссертации, посвященной дистанционному зондированию природных процессов, утверждение, что «Дистанционное зондирование Земли имеет очень широкий круг применения и, в первую очередь, это военная разведка».

Автор пишет, что «Применение разработанного алгоритма в КЭ «Конвергенция» позволит восстанавливать направление приводного ветра по многочастотным радиополяриметрическим измерениям с точностью лучше, чем у зарубежных аналогов». Но такое громкое утверждение требует доказательства с представлением результатов тщательного сравнения с существующими зарубежными аналогами и валидацию на независимых источниках, например, данных наземных измерений. Такой работы пока проведено не было.

Скаттерометр SeaWinds направление и скорость ветра не измеряет (стр. 31), а измеряет, как и другие скаттерометры, рассеяние радиоволн морской поверхностью. А по нему уже восстанавливается скорость и направление ветра также с использованием определенных алгоритмов.

На рис. 1.14 использована экспериментальная зависимость приращения излучательной способности водной поверхности по наблюдениям прибора WindSat от скорости ветра. Не понятно откуда взята скорость ветра. Это данные подспутниковых экспериментов или реанализа?

Из замечаний по существу работы:

В обзоре отсутствует даже поверхностное описание других методов восстановления характеристик поверхностного волнения и приводного ветра, например, по оптическим данным и данным альтиметрии. В чем преимущество микроволновой радиометрии? Например, данные спутниковых альтиметров позволяют восстанавливать приводную скорость ветра с точностью до 1,5 м/с.

Автор утверждает, что «при выполнении аналогичного эксперимента в любой акватории (море, океан, большое озеро) следует ожидать повторение представленных зависимостей». Это не совсем верно – характер связи между ветровым потоком и морским волнением отличается в океане (открытом море) и в мелководных акваториях, прибрежных зонах, замкнутых озерах. Различия в спектрах волнения в этих случаях приведут и к различию характеристик радиационно-ветровой зависимости.

На стр. 61 на рис. 2.7 у автора впервые возникает термин «апвелинг», но нигде не объясняется

что это такое. И почему используемые результаты разделены на «до» и «после» апвелинга? И чем автора не устраивает период «во время апвелинга», тем более, что в 2005 году он был аномально продолжительным?

Устойчивость (стратификация) атмосферы, существенно влияет на характеристики взаимодействия. При устойчивой и особенно сильно устойчивой стратификации, которая наблюдалась в 2005 году, интенсивность турбулентности в ветровом потоке уменьшается, и, соответственно, меняется спектр ветрового волнения, особенно в высокочастотной области. И то, что для анализа взяты данные, полученные только при устойчивой стратификации, тоже может быть причиной расхождения моделей и экспериментальных данных.

И утверждение, что соленость в Черном море всегда 17 промилле также спорно. Как раз во время апвелинга в районе платформы она поднимается от средней 16,5 до 18 промилле.

При использовании модели MW надо учитывать, что эксперимент проходит в прибрежной зоне, а данные, по которым разрабатывалась модель, получены в открытом океане.

Параметрическая модель восстановления скорости, направления ветра и температуры морской поверхности MiROSE проверялась только на данных экспериментов, на основе которых она была разработана, то есть для тех же характеристик стратификации атмосферы и морского волнения. Не было ли возможности проверить ее на другом наборе данных? И правильнее называть MiROSE все-таки не моделью (моделирование предполагает расчет распространения излучения), а параметрической или функционально зависимостью.

В автореферате много стилистических и грамматических ошибок. Иллюстративный материал распределен неравномерно – почему-то графики (и в избытке) использованы только при кратком описании 4 главы.

В списке публикаций автора работа 7 (которая на самом деле является английской версией работы 3) входит в WoS и Scopus, а работы 1,4,6 – в Scopus. Так что автор принизил свои заслуги, что, впрочем, не влияет на общее количество публикаций из списка, утвержденного ВАК, которое требованиям ВАК соответствует.

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Заключительная оценка

Диссертационная работа Сазонова Дмитрия Сергеевича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на хорошем научном и техническом уровне. Работа базируется на качественном анализе литературных источников и измерительных данных. Разработанные автором методики восстановления характеристик приводного ветра по данным радиотеплового зондирования морской поверхности обоснованы и тщательно проверены как в условиях реального эксперимента, так и при обработке

экспериментальных данных. Представленная работа вносит значительный вклад в развитие методов дистанционного зондирования Земли из космоса и имеет практическую значимость. В работе приведены научные результаты, позволяющие квалифицировать их как законченное и значимое научное исследование. Полученные автором результаты имеют новый уровень, являются достоверными, а выводы и заключения обоснованными. Результаты диссертационной работы своевременно опубликованы в 35 печатных трудах, 7 из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертационного исследования.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и требованиям ВАК, предусмотренных в пп. 9 и 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, с изменениями на 28 августа 2017 года, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03– радиоп физика (п. 1 паспорта специальности).

Официальный оппонент

Заведующая Лабораторией взаимодействия атмосферы и океана
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института физики атмосферы им. А.М. Обухова

Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН),

Доктор физико-математических наук

Тел. 8-495-951-85-49, e-mail: repina@ifaran.ru

119017, Москва, Пыжевский пер. 3

Репина Ирина Анатольевна

20.08.2018

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

Краснокутская Л.Д.

