

ОТЗЫВ

официального оппонента
Троицкой Юлии Игоревны

на диссертацию Заболотских Елизаветы Валериановны
«Развитие спутниковых пассивных микроволновых методов зондирования системы «океан-атмосфера» и их применение в задачах изучения экстремальных погодных явлений»,

*представленную на соискание
ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 25.00.28 – океанология*

Диссертационная работа Заболотских Е.В. развивает новое, **актуальное** и практически важное научное направление, связанное с разработкой методов спутникового пассивного микроволнового дистанционного зондирования для получения численных оценок параметров атмосферы и океана. В фокусе работы – явления, оказывающие наибольшее влияние на деятельность человека и сопровождающиеся большими экономическими потерями: морские погодные системы со штормовыми и ураганскими ветрами и осадками. Решение задачи снижения ущерба от катастрофических разрушений, вызываемых на суше воздействием штормовых ветров и осадков, требует улучшения качества прогноза параметров шторма (траектории, интенсивности и т.п.). С учетом редкой сети традиционных гидрометеорологических наблюдений в открытом океане особенно актуально использование дистанционных спутниковых методов, обеспечивающих высокую производительность гидрометеорологического мониторинга на больших акваториях. Приоритетное значение имеет использование зондирования в микроволновом диапазоне, который обеспечивает получение информации независимо от времени суток, а также в присутствии облачности.

Для условий экстремальных ветров хорошо известна и широко обсуждается проблема низких точностей оценок параметров атмосферы и океана, обусловленная физическими особенностями переноса электромагнитных волн в системе океан - атмосфера. В связи с этим диссертация Е.В. Заболотских, направленная на совершенствование методов восстановления параметров системы «океан-атмосфера в экстремальных условиях, представляет большую **научную и практическую ценность**. Следует подчеркнуть, что несмотря на то, что большинство методов разрабатываются для параметров измерений японского инструмента Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2), усовершенствованные, верифицированные методики обработки спутниковых данных, основанные на результатах физического моделирования могут быть адаптированы для радиометров с аналогичными характеристиками, в том числе, в частности, для российского инструмента МТВЗА на спутниках серии Метеор.

Диссертация состоит из Введения, 7-и глав, Заключения, списка использованных источников и списка публикаций автора, в которых опубликованы основные результаты работы.

Во **Введении** обсуждается актуальность работы, степень разработанности проблемы, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы.

Первая глава посвящена анализу существующих, разработанных к настоящему моменту методов и алгоритмов оценки скорости приводного ветра, интегрального содержания водяного пара в атмосфере, водозапаса облаков (интегрального содержания жидкокапельной влаги), интенсивности жидких осадков по данным спутниковых микроволновых сканирующих радиометров. Здесь хотелось бы отметить полноту и широкий охват методов микроволнового зондирования атмосферы и океана, включая самые современные.

Вторая глава посвящена описанию численного эксперимента, использованного на всех этапах разработки методов. Численный эксперимент состоит из

последовательного решения прямой и обратной задач атмосферной оптики применительно к микроволновому диапазону спектра. Обратная задача решается с помощью нейронных сетей. Подробно описываются математические основы нейронных сетей типа многослойного персептрона. В главе рассматриваются атмосферные параметры влагосодержания – влагозапас атмосферы и водозапас облаков. Обсуждается валидация метода восстановления влагозапаса атмосферы на основании данных радиозондирования небольших островных станций. Для метода восстановления водозапаса облаков проводится косвенная валидация путем сравнения с изображениями облачного покрова по данным спектрорадиометров. Показана работоспособность метода восстановления влагозапаса атмосферы, в том числе, и для экстремальных условий в тропических циклонах. При этом в качестве независимых измерений влагозапаса при этом используются данные GPS. **Также во 2-й главе предложен метод фильтрации и маскирования областей поверхности океана, над которыми расположена оптически плотная атмосфера, препятствующая восстановлению параметров поверхности океана и приподнятого слоя атмосферы. Метод основан на использовании пороговых значений интегрального атмосферного поглощения на частоте 10.65 ГГц. Такой подход является новым, оригинальным и результативным. Следовало бы однако пояснить выбор частоты излучения, для которого определяется поглощение.**

Третья глава описывает модельную калибровку данных спутниковых радиометров. На основании сравнения данных измерений и данных модельных расчетов радиояркостных температур для predetermined состояний океан-атмосфера (безоблачные условия, известные профили атмосферных параметров и известные параметры океана) рассчитываются поправки к расчетам, учитывающие интегрально неточности геофизической модели и ошибки инструментальной калибровки. Эти калибровочные поправки используются в дальнейшем при переходе к измеренным радиояркостным температурам при использовании методов, разработанных на основании модельных расчетов.

В четвертой главе разработан новый метод восстановления интенсивности дождя по данным низкочастотных измерений AMSR2 на каналах С- и X-диапазона. Обычно радиояркостные температуры (T_r) на этих частотах не используются в методах оценки параметров атмосферы. Однако, в диссертации показано, что чувствительность измерений на данных каналах при интенсивностях дождя, превышающих 2 мм/ч, достаточна, чтобы использовать их при оценке данного параметра, а низкая чувствительность к профилям гидрометеоров позволяет повысить точность в условиях сравнительно высоких интенсивностей (до 20 мм/ч). Для минимизации влияния параметров океана используются разницы яркостных температур на разных частотах. Для тестирования метода используется готовый спутниковый продукт, а именно интенсивность дождя, восстановленная по данным радиометра Tropical Rain Measurement Mission (TRMM) Microwave Instrument (TMI).

Пятая глава посвящена разработке методов восстановления скорости приводного ветра. Первая часть главы содержит описание метода, применимого в условиях атмосферы без осадков. Предложено два варианта алгоритмов восстановления скорости приводного ветра, основанных на использовании данных различных спектральных каналов и поляризаций. Описана валидация алгоритмов с использованием сопутствующих измерений ветра морскими буями, и (для высоких скоростей ветра) приборами, размещенными на нефтяными платформами, а также спутниковым скаттерометром ASCAT на спутнике Metop-A. Оба метода основаны на использовании результатов численного эксперимента. Важнейшим элементом моделирования, позволяющим повысить точность методов, является модель ветровой зависимости коэффициента излучения океана, в качестве которой в работе используется эмпирическая модель, разработанная в институте Ifremer. Вторая часть главы описывает метод восстановления скорости приводного ветра, применимый в условиях осадков и основанный на разделении излучения на излучение дождя и излучение системы океан-атмосфера без осадков. При этом

также используются спутниковые измерения над тропическими циклонами на каналах С- и Х- диапазона. Для анализа выбираются тропические циклоны с полями скорости ветра, близкими к осесимметричным, и с резко асимметричными полями облачности. После вычитания из общего излучения дождя к остатку применяется низкочастотный алгоритм восстановления скорости ветра. Для тестирования предложенного метода восстановления скорости приводного ветра в тропических циклонах используются сопутствующие измерения ветра самолетным радиометром SFMR и спутниковым радиометром SMOS. В пятой главе также приводится описание разработанного метода идентификации зон радиочастотных помех на частотах измерений С- и Х- диапазона. **По моему мнению, в данной главе было бы полезно построить диаграмму разброса скоростей ветра, восстановленных по данным AMSR2, и по другим данным. Это дало бы возможность иметь наглядное представление о качестве восстановления скорости ветра. Кроме того, на мой взгляд, следует пояснить, каким образом с помощью описанного алгоритма восстановлено асимметричное поле скорости ветра в урагане Sandy (рис.5.17), хотя алгоритм развивается для полей скорости ветра, близких к симметричным. Также в качестве замечания редакционного характера хотелось бы отметить неудачные жаргонные выражения "1-минутный ветер", "10-минутный ветер", которые следовало бы заменить на "скорость ветра, осредненная за 1 минуту" или за "10 минут".**

Шестая глава посвящена разработке новой геофизической модельной функции (ГМФ), т.е. зависимости микроволнового излучения океана от скорости ветра при ветрах, превышающих 33 м/с. Метод основан на физическом моделировании яркостной температуры и анализе базы данных измерений AMSR2 и скоростей ветра по данным Best Track. **Замечаний по существу к данной главе нет, однако на стр. 162 отмечено некорректное утверждение "на морских волнах, длина которых много меньше длины волны излучения (брэгговская рябь)". В действительности длина брэгговской ряби связана с длиной волны**

излучения резонансным соотношением, зависящим от угла визирования, и эти длины волн сравнимы.

В седьмой главе разработанные методы применяются при изучении полярных циклонов. Предложен метод идентификации полярных циклонов в полях восстановленного влагозапаса атмосферы. Интересно отметить, что данный метод позволяет идентифицировать полярные циклоны независимо от облачности, поскольку наибольший вклад во влагозапас атмосферы вносит влажность приземного слоя. Применение этого метода для идентификации полярных циклонов позволило создать новую статистику полярных циклонов в морях Северо-Европейского бассейна за период с 1995 по 2009 г., которая содержит большее количество полярных циклонов, чем указано в опубликованной литературе. Хотелось отметить обнаруженный диссертантом факт существования мезоциклонов в Восточном секторе Арктики, который объясняется в диссертации увеличением площади воды, свободной ото льда, существование которое необходимо для развития этих атмосферных вихрей.

Обобщая содержание отзыва можно утверждать, что диссертационная работа Заболотских Е.В. представляет законченное, серьезное и многостороннее научное исследование, выполненное на высоком профессиональном уровне и соответствующее мировым стандартам в области океанологических исследований. Основные цели диссертационной работы достигнуты. Все полученные результаты являются **новыми**. **Достоверность исследования** подтверждается большим экспериментальным материалом. Актуальность работы и **личный вклад автора** четко сформулированы и не вызывают сомнения. Автор известен по своим публикациям и выступлениям на конференциях различного уровня. Совокупность выполненных автором исследований и полученных результатов составляет крупное научное достижение, сутью которого является разработка новых эффективных физически обоснованных методов восстановления скорости приводного ветра и основных гидрометеорологических параметров атмосферы над океаном,

применимых в широком диапазоне условий, в том числе, при тропических ураганах, а также их применение для исследования экстремальных погодных явлений. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертационной работы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация Заболотских Е.В. соответствует всем критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней:

- совокупность выполненных автором исследований и полученных результатов можно квалифицировать как научное достижение;
- диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, выдвигаемые для публичной защиты, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в науку;
- основные научные результаты опубликованы в 28 научных работах, в т. ч. в 15 статьях в рецензируемых русскоязычных научных журналах, входящих в список ВАК;
- в диссертации соискатель ученой степени надлежащим образом ссылается на цитируемые источники, заимствованные материалы и их авторов.

Заключение.

Диссертация Заболотских Елизаветы Валериановны представляет собой законченное научное исследование, в котором на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Считаю, что диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соис-

вание ученой степени доктора наук, а её автор, Заболотских Елизавета Валерия-
новна заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-
математических наук по специальности 25.00.28 – “Океанология”.

Официальный оппонент

Троицкая Юлия Игоревна,

доктор физ.-мат.наук,

старший научный сотрудник

Зав.отделом Нелинейных геофизических процессов

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федераль-
ный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской акаде-
мии наук» (ИПФ РАН)

603950 Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Телефон: 8314 36 82 97 (раб.), E-mail: yuliya@hydro.appl.sci-nnov.ru

Подпись Ю.И.Троицкой заверяю.

Ученый секретарь ИПФ РАН

к.ф.-м.н.



Корюкин Игорь Валерьевич

14 октября 2016 г.