

ОТЗЫВ

официального оппонента Иванова Владимира Владимировича, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника отдела взаимодействия океана и атмосферы Федерального государственного бюджетного учреждения «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» на диссертационную работу 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 Е.В.Заболотских посвящена разработке комплексных методов оценки параметров системы «океан – атмосфера» по данным измерений спутникового микроволнового радиометра последнего поколения AMSR2. Новизна развиваемых методов состоит в расширении возможностей их эффективного применения в экстремальных погодных условиях, включая полярные, внетропические и тропические циклоны, со штормовыми скоростями ветра.

Актуальность выбранной темы определяется настоятельной потребностью получения регулярной оперативной информации об атмосфере и океане на планетарном масштабе для прогнозирования погоды и анализа климатических изменений. При наличии экстремальных погодных явлений существующие спутниковые продукты по влагозапасу атмосферы, водозапасу облаков и скорости приводного ветра не обеспечивают надежной информации в силу значительных погрешностей, что усложняет оценку рисков, обусловленных погодными явлениями именно в тех ситуациях, когда такая оценка крайне необходима. С учетом этого, выбранная соискателем тема исследования, связанная с разработкой новых методов оценки параметров океана и атмосферы, применимых в экстремальных погодных условиях безусловно практически значима, а результаты работы могут найти применение для обеспечения безопасности в хозяйственной и социальной сферах.

Выбранная автором теоретическая концепция исследования заключается в определении диапазона физических условий, при которых спутниковые пассивные микроволновые измерения обладают достаточной чувствительностью к геофизическим параметрам, на основе результатов моделирования излучения системы «океан – атмосфера». Результаты моделирования, при этом, обеспечивают необходимый фактический материал для последующей разработки методов восстановления геофизических параметров, применимые во всем полученном диапазоне состояний

системы. В отдельных главах диссертации соискатель подробно описывает разработанные алгоритмы, модельную калибровку спутниковых измерений микроволновых радиометров, процедуру верификации алгоритмов с помощью независимых измерений параметров и оценивает эффективность их применения при изучении экстремальных погодных явлений. Несомненным достоинством диссертации является рассмотрение большого набора значимых геофизических параметров, включая: влагозапас атмосферы, интегральное содержание водяного пара в столбе атмосферы единичного сечения, водозапас облаков, интегральное содержание жидкокапельной влаги в облаках, скорость приводного ветра, интенсивность осадков и др.

В целом, необходимо подчеркнуть, что сформулированная автором цель диссертации: «создать комплекс методов количественной оценки параметров системы океан – атмосфера по данным измерений спутникового микроволнового радиометра последнего поколения AMSR2, эффективных в расширенном диапазоне погодных условий, включающем экстремальные явления, такие как полярные, внетропические и тропические циклоны, характеризующиеся штормовыми ветрами, превышающими 15 м/с, и обеспечивающих возможность создания новых спутниковых продуктов» безусловно, является актуальной, а **полученные результаты - новыми**. Диссертация состоит из введения, семи глав и заключения. Объем диссертации 241 стр., включая 73 рисунка, 6 таблиц и 223 наименования в списке использованных источников.

Во Введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, определена его научная новизна, научная и практическая значимость, дана оценка достоверности полученных результатов, и приведены сведения о личном вкладе автора, апробации работы, публикациях по теме диссертации и о структуре диссертации.

В первой главе приводится аналитический обзор исторических и существующих методов восстановления рассматриваемых параметров океана и атмосферы: скорости приводного ветра, влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков, интенсивности осадков. Основной вывод, сделанный автором, что несмотря на большое количество существующих методов и готовых спутниковых продуктов, в экстремальных погодных условиях, включающих облачность с водозапасом, превышающим 0.5 кг/м^2 и штормовые ветры, эти методы обладают большими погрешностями.

Во второй главе подробно описан численный эксперимент, позволяющий моделировать спутниковые измерения с аппаратурой радиометра определенного типа и разрабатывать методы оценки геофизических параметров на основе модельных значений радиояркостных температур.

В третьей главе проводится модельная калибровка - выполнение расчетов радиояркостной температуры с использованием известных значений параметров океана и атмосферы и сравнение результатов расчетов с совмещенными в пространстве и во времени спутниковыми измерениями. Показано, что систематические ошибки между измерениями и расчетами радиояркостной температуры могут являться следствием как неточной инструментальной калибровки, так и неадекватности используемой модели радиационного переноса. Для калибровки были протестированы комбинации моделей, состоящие из нескольких моделей поглощения водяного пара, поглощения кислорода и ветровой зависимости коэффициента излучения океана. Тестирование проводилось путем сравнения расчетных значений радиояркостной температуры с сопутствующими спутниковыми измерениями. В главе подробно описано создание базы данных измерений и обсуждены требования к качеству и разрешению данных, что принципиально важно, поскольку от выполнения этих требований зависит результат сопоставления. Автор оправдано обосновывает выбор комбинации моделей, обеспечивающий наилучшее в смысле среднеквадратичной разницы соответствие между рассчитанными и измеренными значениями радиояркостной температуры.

В четвертой главе описан метод восстановления интенсивности дождя по данным измерений AMSR2, основанный на использовании низкочастотных измерений радиометра на каналах C- и X-диапазона. На этих частотах существенное влияние на радиояркостную температуру оказывают геофизические параметры, в частности, скорость приводного ветра. Решение этой проблемы, предложенное соискателем, заключается в использовании разницы в измерениях на каналах C- и X-диапазона. Алгоритм основан на результатах физического моделирования радиояркостной температуры уходящего излучения над океаном в условиях дождя для характеристик низкочастотных каналов AMSR2 C- и X-диапазона. В заключительной части главы сделана оценка применимости разработанного алгоритма. Делается вывод, что алгоритм принципиально применим для восстановления интенсивностей дождя до 20 мм/ч. Однако, для интенсивных дождей (более 10 мм/ч) его следует использовать с определенными оговорками, принимая во внимания принятые в модели упрощения.

В главе 5 рассматривается решение одной из центральных задач исследования разработки алгоритма восстановления скорости приводного ветра по данным измерений AMSR2. В основу метода восстановления скорости приводного ветра в тропических циклонах по данным измерений AMSR2 положено разделение суммарного регистрируемого излучения на излучение слоя дождя с определенной радиояркостной температурой и излучение системы океан-атмосфера без осадков. Метод разделения

суммарной радиояркостной температуры основан на анализе ее распределения над тропическим циклоном. Для анализа использовались тропические циклоны, над центральной частью которых на равном расстоянии от центра выделялись безоблачные области и зоны интенсивных осадков. С использованием разработанного метода были построены поля ветра для базы данных тропических циклонов 2012-2015 гг. Сопоставления полей ветра, восстановленных по данным AMSR2 с полями ветра по данным SMOS показали высокую эффективность нового метода.

В главе 6 представлен основанный на физическом моделировании методический подход, позволяющий уточнить функциональную зависимость микроволнового излучения океана от скорости ветра при штормовых ветрах. Для уточнения поведения геофизической модельной функции в области ураганных ветров автор использовал результаты численного моделирования радиояркостной температуры уходящего излучения системы «океан-атмосфера» с осадками и анализ полей измеренных радиометром AMSR2 значений радиояркостной температуры. Суть выбранного подхода заключается в извлечении из общей измеренной радиояркостной температуры системы микроволнового излучения океана.

В главе 7 продемонстрировано применение разработанных методов для изучения полярных циклонов. Проблема обнаружения полярных циклонов при помощи данных измерений в видимом и ИК спектрах связана с тем, что облачность активно развивается в приземном слое, и при наличии верхнего слоя облаков облачная структура полярного циклона не диагностируется. В главе показано, что метод обнаружения полярных циклонов по влагозапасу атмосферы позволяет идентифицировать объект независимо от облачности, поскольку наибольший вклад в этом случае вносит влажность приземного слоя. Дополнительное преимущество использования измерений AMSR2 для идентификации полярных циклонов состоит в том, что поиск вихревых структур в полях влагозапаса проводится параллельно с анализом восстановленных скоростей ветра, что позволяет выделить вихри, в которых скорость ветра превышает пороговое значение.

В Заключении перечислены основные результаты проведенных в рамках диссертационной работы исследований. Для каждой из глав и разделов диссертации указаны конкретные выводы. Основные научные выводы работы в сжатом виде сформулированы в автореферате.

В целом, представленная к защите диссертационная работа производит весьма благоприятное впечатление. Помимо описания оригинальных результатов в диссертации проведен подробный обзор публикаций по тематике работы, что говорит о высокой степени осведомленности соискателя о современных проблемах, возникающих при

разработке новых методов обработки и интерпретации данных спутникового микроволнового зондирования океана и атмосферы. **Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне.** Положения, выносимые на защиту, составляют оригинальный научный результат, который может быть квалифицирован как решение актуальной научной проблемы. Полученные автором выводы достоверны, и обоснованы анализом, содержащимся в диссертационной работе. Основные результаты диссертации опубликованы в 28-ми статьях, входящих в перечень ВАК, большая часть которых также включена в рейтинговые списки Web of Science и Scopus. Результаты, представленные в диссертации, неоднократно обсуждались на различных конференциях и симпозиумах и получили одобрение ведущих специалистов.

Диссертационная работа выгодно отличается своей целостностью, способностью автора выполнить крупное научное исследование, от постановки фундаментальной научной проблемы, через теоретический анализ и обработку экспериментальных (модельных) данных до разработки новых методов оценки параметров системы «океан – атмосфера». Результаты работы могут найти непосредственное практическое применение в научных учреждениях Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России и Российской Академии наук, занимающихся прогнозированием погоды и исследованием климата. Работа базируется на обширном экспериментальном материале, значительная часть которого была получена при непосредственном участии автора. Диссертация написана ясным языком, грамотно и аккуратно оформлена. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

В диссертации содержится ряд недостатков:

1. Методы восстановления влагозапаса атмосферы, водозапаса облаков, интенсивности дождя, атмосферного поглощения, скорости приводного ветра, методы фильтрации радиочастотных помех и фильтрации осадков по данным японского спутникового радиометра AMSR2 основаны на использовании результатов численного эксперимента. Для настройки методов используется база данных сопутствующих измерений параметров атмосферы и океана, представляющая широкий диапазон изменчивости состояний системы. Очевидно, что от того, насколько представительна данная база, зависит эффективность методов, поскольку все они используют регрессию на основе нейронных сетей. При этом, обсуждению характеристик использованной базы данных в работе уделено мало внимания, и совсем не рассматривается вопрос о влиянии изменений этих характеристик на создаваемые методы.

2. Важным элементом диссертационной работы является модельная калибровка. Без ее использования методы, основанные на результатах модельных расчетов радиоярких температур, не применимы к спутниковым измерениям. Известно, что инструментальная калибровка радиометров меняется в зависимости времени. В то же время, в работе модельная калибровка проводится одномоментно. Логичнее виделось бы построение временного ряда смещений результатов расчетов от спутниковых измерений. Анализ подобного временного ряда позволил бы судить о возможности использования однократно полученных калибровочных поправок при разработке методов.

3. Почему для фильтрации осадков в диссертационной работе используется пороговое значение для атмосферного поглощения, но при этом разрабатывается отдельный метод восстановления осадков? Не логичнее ли было бы оценивать интенсивность осадков при помощи разработанного метода и фильтровать их при ненулевых значениях интенсивности?

4. Эффективность разработанных методов в условиях экстремальных ветров, главным образом, зависит от эффективности модели коэффициента микроволнового излучения океана, а точнее, от ее ветровой зависимости. Несмотря на то, что в диссертации приведено много общих слов о трудностях моделирования влияния ветра на излучательную способность океана, детали использованной модели скрыты за короткой фразой, что она является «обобщением экспериментальных данных, включая данные, полученные при сильных ветрах». При этом, известно, что данные измерений – как радиометрических, так и измерений ветра при сильных ветрах получить крайне затруднительно. В диссертации данный вопрос не освещен.

5. Реальные природные процессы используются только для валидации разработанных алгоритмов. Диссертация была бы более полной, если бы с использованием разработанных алгоритмов был рассмотрен генезис реальных природных явлений, в частности тропических и полярных циклонов.

Сделанные замечания не являются принципиальными и не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

Заключение по диссертационной работе.

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. Работа выполнена автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, свидетельствующие о

личном вкладе автора диссертации в науку. Основные научные результаты опубликованы, и в диссертации автор надлежащим образом ссылается на цитируемые источники, заимствованные материалы и их авторов. Таким образом, считаю, что диссертационная работа Заболотских Елизаветы Валериановны «Развитие спутниковых пассивных микроволновых методов зондирования системы «океан – атмосфера» и их применение в задачах изучения экстремальных погодных явлений» соответствует всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.28 – Океанология, а ее автор заслуживает присвоения ему искомой степени.

Официальный оппонент,
ведущий научный сотрудник отдела взаимодействия океана и атмосферы
ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт»,
доктор физико-математических наук



Владимир Владимирович Иванов

10 октября 2016 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт»

199397, Санкт-Петербург
ул. Беринга, д. 38
тел.: +7 (812) 337-31-23
эл. почта: vladimir.ivanov@aari.ru

Подпись В.В. Иванова удостоверяю
Ученый секретарь ФГБУ «ААНИИ»,
кандидат физико-математических наук



Мария Андреевна Гусакова