

Отзыв официального оппонента на диссертацию

Козлова Игоря Евгеньевича

Исследование внутренних волн и фронтальных разделов в море методами радиолокационного зондирования из космоса

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 25.00.28 – океанология

Оперативное получение и анализ информации о состоянии поверхности и подповерхностных слоев океана необходимы для безопасного ведения хозяйственной деятельности человека в водных акваториях, в частности, судоходства, добычи полезных ископаемых, подводного и надводного строительства и т.д., а также и для обнаружения негативных последствий этой деятельности (решение задач экологии). Удаленность от берегов и большие размеры осваиваемых акваторий затрудняют во многих случаях проведение непрерывных контактных измерений характеристик волнения, его изменчивости и состояния водной толщи, в связи с чем проведение дистанционного (и в частности, с применением радиолокационных систем наблюдения) мониторинга представляется чрезвычайно перспективным. Спутниковое радиолокационное (РЛ) зондирование обладает высоким потенциалом для изучения процессов в океане и атмосфере независимо от времени суток, метеорологических условий и освещенности.

При общей мировой тенденции роста интереса к данным спутниковых РСА съёмке и расширению сферы их применения в океанографии, морской экологии, системах оценки, управлении и защиты прибрежных ресурсов и др., РСА почти не применяются для исследования и мониторинга морей Арктики. Количество публикаций по океанологии арктических морей, в которых использованы данные РСА, весьма ограничено. При этом, не смотря на более чем 30-летнюю историю космической радиолокации, законы формирования РЛ изображений различных явлений на поверхности океана до сих пор изучены недостаточно. В частности, до сих пор нет четкого описания закономерностей и количественных соотношений между РЛ контрастом и параметрами исследуемого явления, а также параметрами морской среды и метеоусловиями. Поэтому актуальность данной работы не вызывает сомнений. В диссертационной работе Козлова И.Е. разработаны новые методики интерпретации спутниковых изображений на основе полуэмперических моделей и проведен анализ значительного количества РЛ изображений с различными явлениями на морской поверхности.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, цель и задачи исследования, описывается объект и предмет исследования, указывается, в чем состоит

научная новизна и практическая значимость результатов, а также формулируются положения, выносимые на защиту.

В главе 1 разработана методика диагностики внутренних волн по РСА изображениям в зависимости от скорости ветра и геометрии РЛ наблюдений. Внутренние волны оказывают огромное влияние на процессы, протекающие в океане. Движения, создаваемые внутренними волнами, пронизывают всю толщу океана и играют важную роль в процессах на его поверхности. Для арктических морей, обладающих наиболее протяженным шельфом, эта тема особенно важна. При этом натурных исследований генерации внутренних волн в регионе проведено крайне мало. Предложена полуэмпирическая модель, связывающая величины радиолокационных контрастов со скоростью приводного ветра и полушириной солитона, проведен анализ формирования радиолокационных проявлений внутренних волн в штилевой области. С использованием разработанных методик проведена обработка РСА изображений для Баренцева и Карского морей, выявлены районы очагов генерации Внутренних волн, рассмотрены вероятные механизмы их формирования.

В главе 2 методика интерпретации данных спутниковых РЛ изображений применена для анализа наблюдений прибрежного апвеллинга в Балтийском море. Количественный анализ проявлений термического фронта в РСА изображениях проводился на основе модели трансформации пограничного слоя над температурными неоднородностями подстилающей поверхности. Показано изменение стратификации пограничного слоя, возникающее вследствие горизонтальной изменчивости поля температуры. Также показано, что другим важным механизмом формирования РЛ проявлений фронта апвеллинга является падение уровня обратного рассеяния РЛ сигнала под влиянием пленок поверхностно-активных веществ на морской поверхности.

В третьей главе на основе метода декомпозиции 2-поляризационных РСА изображений проведено исследование физических механизмов формирования РЛ проявлений внутренних волн, поверхностных течений и фронтальных разделов. Основой для анализа послужили спутниковые РЛИ RADARSAT-2 северо-восточной части Белого моря, полученные в режиме 4-поляризационной съемки. Проведенный анализ показал важную роль обрушений волн при формировании проявлений мезомасштабных течений на РСА изображениях морской поверхности в С-диапазоне в условиях умеренных ветров. На основе метода декомпозиции 2-поляризационных РСА изображений показана возможность идентификации динамических процессов в морской среде на фоне пространственно-неоднородного поля ветра.

В заключении приводятся основные результаты работы и выводы. В представленной работе разработаны методики определения параметров внутренних волн и термических фронтов по РСА изображениям; построены полуэмпирические модели связывающая величины РЛ контрастов ВВ с безразмерным параметром, включающим скорость ветра и полуширину солитона; связывающая величину РЛ контраста фронта с безразмерным параметром стратификации, основанным на измеряемом перепаде ТПМ через фронт и скорости ветра. показана возможность идентификации поверхностных течений, внутренних волн и фронтальных разделов на фоне пространственно-неоднородного поля ветра. На основе разработанных методик проведено районирование короткопериодных внутренних волн в Баренцевом и Карском морях и выявлены основные зоны их распространения, исследованы характеристики фронта прибрежного апвеллинга в Балтийском море.

К сожалению, из обзора работ, посвященных исследованию проявлений внутренних волн на морской поверхности совершенно практически выпал значительный пласт работ, проводимых в Институте прикладной физики РАН, в том числе и для морей Арктики. В ИПФ разработана кинематическая модель воздействия внутренних волн на ветровое волнение, проводятся специализированные лабораторные эксперименты на стратифицированном бассейне. Теоретически и экспериментально в лабораторных условиях исследуется генерация поверхностных волн неоднородным и нестационарным течением (см., например, Bakhanov, V. V., and L. A. Ostrovsky, Action of strong internal solitary waves on surface waves, *J. Geophys. Res.*, 107(C10), 3139, doi:10.1029/2001JC001052, 2002. Талипова Т. Г., Куркина О. Е., Терлецкая Е. В., Куркин А. А., Рувинская Е. А. Моделирование внутренних волн в прибрежной зоне Баренцева моря//*Экологические системы и приборы*. 2014. № 3. С. 26-38. Талипова Т. Г., Пелиновский Е. Н., Куркина О. Е., Гиниятуллин А. Р. Отражение длинных внутренних волн малой амплитуды от подводного откоса // *Известия Российской академии наук. ФАО*. 2014. № 3 и мн. др.) В работе не хватает хотя бы качественного описания гидродинамических моделей, описывающих исследуемые явления. Расчеты по численным моделям позволяют оценить амплитуду внутренних волн и потоки их энергии в непосредственной близости от района генерации, что было бы хорошим подспорьем для интерпретации полученных изображений и выявлению механизмов генерации ВВ в указанных районах. Тем более, что входные параметры для Баренцева и Карского морей доступны в океанографических архивах. Было бы полезно провести сравнение с данными наблюдений. Судовые измерения в Карском море регулярно проводятся ИО РАН, также доступны данные буйковых станций, устанавливаемых в Арктических морях в районе свала глубин

Международным центром Арктических исследований Университета Аляски. Но это, скорее, тема для дальнейшей работы автора. Как и очень интересная тема проявлений внутренних волн в полях льда, особенно в прикромочных зонах.

При построении картины встречаемости ВВ в морях Арктики проводилась ли дифференциация изображений по скоростям ветра? Как отмечает сам автор, качество изображения значительно зависит от скорости ветра. И количество пакетов внутренних волн в определённом районе может быть связано с повторяемостью ветровых ситуаций.

Почему для восстановления полей ветра использовались данные реанализа, а не данные спутниковых скаттерометров (QuikScat или WindSat), которые дают поля ветра значительно лучшего разрешения?

Какой механизм формирования проявлений внутренних волн на РЛ изображениях все-таки преобладает: кинематический или сликовый? Вероятно, он будет отличаться для различных регионов Арктики в зависимости от донного рельефа и продуктивности верхнего слоя моря.

Является ли разработанная модель трансформации планетарного пограничного слоя над зоной апвеллинга универсальной или может быть зависима от глубины водоема, пространственной и временной продолжительности апвеллинга и величины температурных контрастов?

В разделе 2.2 появляется аббревиатура АПС (атмосферный пограничный слой), но при этом нигде не расшифровывается. Хотя, как следует из дальнейшего изложения, речь идет скорее о ППС (планетарном пограничном слое). В том же подразделе приведена формула (2.2) для определения параметра шероховатости. Почему параметр Чарнока задан в виде константы 0.015? Ведь он довольно существенно зависит от степени развития волнения и глубины водоема. И для мелководного Балтийского моря было бы логичнее использовать значения, характерные для прибрежной зоны, а не для открытого океана.

Но, несмотря на все указанные замечания, которые носят скорее редакционный характер, диссертационная работа Козлова И.Е. является добротным научным исследованием, имеющим исключительно важное прикладное и фундаментальное значение. По теме диссертации опубликовано 17 статей, из которых 11 статей в журналах из списка ВАК, 4 статьи в журналах, индексируемых в базе данных Web of Science, 6 статей в трудах международных и российских конференций. Результаты работы защищены 6 патентами. Результаты диссертации неоднократно обсуждались на различных конференциях и получили одобрение ведущих специалистов.

В работе приведены научные результаты, позволяющие квалифицировать их как законченное и значимое научное исследование. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Работа базируется на огромном числе исходных данных и подает хороший пример грамотного использования спутниковой информации для интерпретации явлений на поверхности океана. При этом автор не просто описывает спутниковые изображения, но и пытается разобраться в физике исследуемых процессов. Представленная работа вносит значительный вклад в развитие методов дистанционного исследования морской поверхности, написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертационная работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Козлов Игорь Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук 25.00.28 – океанология.

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

Репина Ирина Анатольевна

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

Краснокутская Людмила Дмитриевна

