

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Чешм Сиахи Вахид на тему: «Исследования ветровых волн в полярных и внетропических циклонах на основе спутниковых наблюдений и моделирования», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.6.17.

Океанология

Целью работы являлось выявление закономерностей генерации и эволюции поверхностных волн под действием движущихся полярных и внетропических циклонов с помощью моделирования и анализа данных спутниковых измерений.

Актуальность исследования связана с тем, что экстремальные условия, сопровождающие развитие циклонов высоких широт, увеличивают риски для судоходства, морской деятельности и развития прибрежных районов. Корректная оценка и прогноз этих рисков невозможны без эффективного моделирования волновых полей, генерируемых движущимися атмосферными образованиями, верифицированного спутниковыми наблюдениями.

Структура и объем диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 103 ссылки, 45 иллюстраций и 2 таблиц. Работа изложена на 131 странице в англоязычном варианте, в переводе на русский язык – на 139 страницах.

Во введении обоснована актуальность работы, определены цель и задачи исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, описаны научная новизна и научная и практическая значимость работы, обоснована достоверность полученных результатов и соответствие паспорту специальности, приведен перечень публикаций по теме диссертации.

В первой главе описывается двумерная мало параметрическая модель, описывающая генерацию волн быстро изменяющимися ветровыми системами. Приведены уравнения модели в форме, описывающей как развитие ветрового волнения, так и его эволюцию в виде волн зыби, и параметры модели. Проведена модификация параметров модели, разработанной ранее для тропических условий, для учета арктических условий. Описана процедура расчетов по уравнениям модели

Во второй главе описываются волны в арктических морях, развивающиеся в результате прохождения полярных циклонов. Дана краткая характеристика полярных циклонов и их особенностей. Рассмотрена генерация ветрового волнения как полярными циклонами, так и холодными вторжениями. В качестве входных параметров для моделирования используются данные реанализа ERA5 о скорости ветра, температуре воздуха и стратификации атмосферы. Для верификации модельных расчетов анализируются данные измерений спутниковых радиоальтиметров. Анализ данных альтиметрии проводится путем обобщения автомодельных законов развития волн с разгоном и во времени на случай генерации волн движущимся циклоном с привлечением концепции эффективного

разгона. Для учета влияния переменного поля ветра, перехода ветрового волнения в зыбь, образования смешанного волнения и других факторов используется двумерная параметрическая модель, в которой уравнения для расчета эволюции параметров волнения выводятся из основных уравнений сохранения волновой энергии и импульса. Для оценки применимости модели в арктических условиях анализируются случаи холодных вторжений в Арктике. Показано, что модификация модели, учитывающая зависимость коэффициента сопротивления от скорости ветра и стратификации атмосферы, а также влияние низкой температуры воздуха на его плотность, позволяет более точно описать поступление энергии ветра к волнам. Верификация проводится на основе сопоставления прогнозных высот волн не только с измерениями альтиметров, но и с измерениями, выполненными с нефтяных платформ. Модифицированная двухпараметрическая модель применяется для анализа нескольких случаев полярных циклонов. Представленные результаты моделирования и данные измерений показывают, что в области полярных циклонов могут волны высотой 12 м, что может представлять существенную угрозу для судоходства и инженерной инфраструктуры в арктических районах.

В третьей главе анализируются особенности волн образовавшихся в результате прохождения двух быстро движущихся внетропических циклонов над северной частью Атлантического океана. Исследованы эволюция максимальных значений высот волн и эволюция зыби по данным моделирования с использованием двумерной модели и по данным измерений альтиметров и буюв. Показана эффективность комбинированного использования различных типов данных для получения хорошо согласованного описания экстремальных штормовых явлений и связанных с ними полей волн.

В заключении приводятся результаты диссертационного исследования и обобщаются полученные в работе закономерности

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. Создана база данных характеристик полей ветра и других метеорологических параметров по данным реанализов и параметров поверхностных волн по данным мультисенсорных спутниковых измерений, а также измерений буюв и нефтяных платформ.
2. Получены количественные эмпирические характеристики распределения ветровых волн, генерируемых под воздействием ПЦ, ВТЦ и холодных вторжений.
3. Разработан и реализован алгоритм применения двумерной параметрической модели волн, генерируемых ветром по данным реанализа.
4. Проведена модификация исходной двумерной параметрической модели волн для учета холодного воздуха, неустойчивой стратификации атмосферы и уменьшения коэффициента сопротивления при больших скоростях ветра.
5. Проведено сравнение результатов расчетов по модифицированной параметрической модели волн с данными спутниковых и буюковых измерений в районах арктических морей и северной части Атлантического океана, подтвердившее применимость модели в широком диапазоне ветровых и атмосферных условий.
6. Показано, что поверхностные волны, генерируемые под воздействием ПЦ, зависят от эффекта захвата волн, возникающего при совпадении направлений ветра и движения ПЦ, которое приводит к развитию волн с высотой, достигающей 12 м и длиной волны 300 м. Эффективность этого механизма существенно зависит от таких параметров ПЦ как

радиус, скорость движения, продолжительность жизни, а также скорость и азимутальное направление ветра.

7. Рассмотрены случаи генерации волн быстродвижущимися системами (ВТЦ), при которых происходит эффект захвата волн в правом секторе циклона, что приводит к появлению в его тыловой части экстремальных волн со значениями высот и длин волн, достигающих 20 м и 500 м соответственно.

8. Проведен анализ эволюции зыби, генерируемой под воздействием ВТЦ, позволяющий сделать вывод, что затухание энергии зыби обусловлено эффектом расхождения волновых лучей, приводящим к падению энергии обратно пропорционально расстоянию от ее источника.

Основные результаты работы в полной мере отражены в публикациях автора в рецензируемых научных журналах.

Достоверность полученных результатов подтверждается публикациями автора в рецензируемых российских и международных журналах, а также представлением результатов на многочисленных конференциях и семинарах. Все полученные результаты верифицированы на данных контактных и спутниковых измерений.

Новизна исследования заключается в том, что существующая двумерная параметрическая модель, впервые применена для моделирования полей волн в арктических морях и северной части Атлантического океана. Разработан алгоритм разделения полного решения волновой задачи на системы волн - зыбь и ветровые волны. Кроме того, модифицированы параметры модели для учета низкой температуры воздуха и неустойчивой стратификации атмосферы в арктических морях. Впервые показано, что для коротко живущих и быстро движущихся атмосферных систем автомодельные решения, основанные на концепции эффективного времени развития, зависящего от параметров циклона, дают более точные оценки параметров генерируемых волн, чем классические законы развития.

Практическая значимость заключается в том, что модифицированная двумерная параметрическая модель позволяет предсказать и быстро оценить с высокой точностью и с минимальными вычислительными ресурсами возможные опасные явления, связанные с волнами, генерируемыми в арктических прибрежных районах и портах. Результаты исследования могут быть использованы для повышения безопасности морского судоходства, функционирования нефтегазовых платформ и прибрежной инфраструктуры в Арктике и Атлантическом океане, особенно в районах, где возрастает интенсивность использования Северного морского пути.

Замечания к диссертационной работе:

1. Представление материала выиграло бы, если бы в диссертацию был добавлен раздел (например, в главу 1, где описывается двух параметрическая модель и ее модификация для арктических условий), где были бы описаны количественные различия в параметрах, характеризующих циклоны высоких широт (полярные и внетропические) и тропические

циклоны. Размеры, скорость перемещения, интенсивность, частота, сезонное распределение, характерные температуры воздуха и проч.

2. Цель работы сформулирована, на мой взгляд, невнятно: «провести экспериментальные и теоретические исследования генерации и эволюции поверхностных волн под воздействием движущихся циклонов». Формулировка цели не подразумевает получение конечного результата. В ней не отражена, в частности, ни новизна работы, заключающаяся в том, что правомерность использования двумерной параметрической модели в условиях полярных и внетропических циклонов никем и никогда не была доказана, ни необходимость модификации этой модели для других условий.

3. В работе не нашло своего отражения обобщение результатов предыдущих работ в том виде, в каком сама работа представлялась бы логичным продолжением уже проведенных исследований. Я так и не смогла разобраться в логике развития моделей. В частности, на стр. 15 утверждается, что «применимость одномерных параметрических моделей к реальным условиям может быть ограничена частными случаями атмосферных явлений, например, внетропическими циклонами», а для быстро изменяющихся ветровых систем требуется двумерная модель. В третьей же главе утверждается, что внетропические циклоны как раз и являются быстро изменяющимися системами. Так для каких циклонов можно применять одномерную модель, а когда требуется двумерная?

4. Основные положения, выносимые на защиту, звучат как пункты плана работ, а не защищаемые результаты работы. Например:

- «...установлены эмпирические закономерности пространственного распределения высот и длин ветровых волн в ПЦ и ВТЦ в зависимости от параметров циклонов». В работе рассмотрены распределения параметров волн для ограниченного набора случаев циклонов – по данным моделирования и по данным спутниковых наблюдений. Но в изложении материала неочевидно, что автор считает закономерностями.

- «предложено обобщение...», «выполнена модификация...», «разработан алгоритм...», «описано формирование...» - таким образом сформулированные положения невозможно защитить (доказать на защите), поскольку они содержат наименования работ, а не полученные конкретные результаты.

- В 5-м пункте сформулированы конкретные результаты работы, но стилистика изложения не дает возможности воспринять их как положения, выносимые на защиту.

5. Мне не хватило в работе обобщений и выводов, позволяющих оценить важность проведенных исследований, не вникая в формулы и параметризации и не вчитываясь в описания развития конкретных циклонов. Если мы можем с помощью модифицированной двумерной модели рассчитывать поля волнения, генерируемые движущимся полярным циклоном, означает ли это, что в каждый момент, когда нам известны положение циклона, скорость и направление его движения и поле ветра, мы можем предсказать появление аномально высоких волн? Соискатель при моделировании использовал данные реанализов, а какие ошибки в результаты могут внести ошибки прогноза?

Несмотря на замечания, соискателем выполнена огромная работа, включающая как моделирование на переднем крае научных исследований, так и анализ данных спутниковых и контактных измерений. Соискатель лично программировал сложные расчеты, требующие в качестве входных разнородных и разноформатных данных, анализировал результаты расчетов и сопоставлений, и принимал участие во всех видах работ, о которых идет речь в диссертации.

Диссертация Чешм Сиахи Вахид на тему: «Исследования ветровых волн в полярных и внетропических циклонах на основе спутниковых наблюдений и моделирования» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Чешм Сиахи Вахид заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.6.17. Океанология. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не установлены.

Член диссертационного совета

д. ф.-м. н., в.н.с. лаборатории спутниковой океанографии РГГМУ

Заболотских Елизавета Валериановна

18 октября 2023 г.

Подпись Заболотских Елизаветы Валериановны удостоверяю

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Алексеева Екатерина Геннадьевна

«26» октября

2023 г.

