

Утверждаю

Проректор по учебной работе ФГБОУ ВО

«Российский государственный
гидрометеорологический университет»



А. Г. Крылов

2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

на диссертационную работу

Мысленкова С.А.

«Диагноз и прогноз ветрового волнения в прибрежной зоне Черного моря»,

представленной на соискание степени кандидата физико-математических наук

(специальность 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы)

Целью диссертационной работы Мысленкова С.А. является создание вычислительной технологии диагноза и прогноза ветрового волнения в прибрежной зоне Черного моря на основе волновой модели SWAN.

Актуальность работы обусловлена возрастающей социально-экономической и военно-стратегической деятельностью на Черном море и его прибрежной зоне, требующей высококачественного гидрометеорологического обеспечения и прогноза. Ветро-волновые условия являются одной из важнейших гидрометеорологических характеристик, активно используемых в инженерных изысканиях для расчета внешних нагрузок на морские объекты и сооружения, в исследованиях динамики песчаных наносов, разрушения береговой линии, и проч. В силу недостаточности и/или отсутствия натурных измерений, моделирование ветрового волнения, его эволюции и воздействия на гидротехнические сооружения и природную среду является единственным инструментом исследования. В последние десятилетия, достигнут значительный прогресс в создании численных моделей ветрового волнения. Создан ряд моделей (WAM, WaveWatch3, SWAN), которые продемонстрировали свою достоверность и эффективность. В диссертации используется модель SWAN, созданная для расчетов параметров ветрового волнения в прибрежной зоне. Применение этой модели для решения важных прикладных задач в прибрежной зоне Черного моря определяет актуальность данной работы.

Научная новизна и практическая значимость. Расчеты по волновой модели SWAN реализованы на оригинальной неструктурной сетки, с изменяющимся по пространству шагом, позволяющим детализировать расчеты параметров волн при резких изменениях рельефа дна и конфигурации береговой черты. Такой подход впервые использован для расчетов характеристик ветрового волнения в Черном море. Полученные данные о режиме ветрового волнения и его пространственно-временной изменчивости в прибрежной зоне Новороссийска, Сочи и Геленджика важны для оценки волновых нагрузок на прибрежные и береговые сооружения, деформации и разрушения береговой линии. Впервые создана и внедрена в оперативную практику в Гидрометцентре России оперативная система прогноза волнения с детализацией в районе Цемесской бухты, Керченского пролива, района Сочи, результаты которой доступны различным потребителям.

Значительный **личный вклад соискателя** не вызывает сомнений. Автор диссертации принимал непосредственное участие в создании цифровой модели рельефа дна Черного моря, оригинальной неструктурной сетки и адаптации волновой модели SWAN. Автор проводил численные эксперименты по расчетам полей ветровых волн, создал алгоритмы и программы для системы оперативного прогноза волнения.

Содержание диссертации. Во введении изложена актуальность работы, ее цели и задачи, научная новизна и практическая значимость, а также приведены основные положения, выносимые на защиту.

В Главе 1 приведен обзор современных численных моделей динамики ветрового волнения. Дается описание основных работ посвященных моделированию ветрового волнения в Черном море, а также приводится анализ существующих систем прогноза волнения. Приводится подробное описание волновой спектральной модели третьего поколения SWAN (Simulating WAVes Nearshore) версии 40.83, которая используется в работе. Эта модель была специально создана для расчетов параметров ветрового волнения в прибрежной зоне по заданным полям ветра и течений, а также рельефу дна. Дается обзор работ по применению неструктурных сеток в численных экспериментах. Обсуждается применение неструктурных сеток для моделирования волн в Черном море. Отмечается, что неструктурные сетки для моделирования волн во всем Черноморском бассейне еще никогда не применялись. Отсутствует также надежные оценки качества моделирования волн в Черном море, основанные на сопоставлении модельных расчетов с данными измерений.

В Главе 2 описаны используемые в работе данные и методы. Приведено описание используемых входных параметров модели, - рельеф дна Черного моря и поля скорости и направления ветра, а также данных инструментальных измерений, используемых для

верификации модельных расчетов. Приведено обоснование выбора параметров настройки модели, и методика построения неструктурной сетки. Для проведения диагностических расчетов, в качестве полей ветра использованы данные реанализа NCEP/CFRSR, а для проведения прогностических расчетов - поля прогноза ветра, доступные в системе GFS. Отмечено, что особенностью данных реанализа NCEP/CFRSR является систематическое занижение скорости ветра в прибрежных зонах по сравнению с измерениями ветра на метеостанциях, что может существенно влиять на результаты модельных расчетов волн. В тоже время, для открытых акваторий поля ветра по NCEP/CFRSR не обладают систематическими ошибками. На основе навигационных карт масштаба 1:50 000 и 1:25 000 разработана оригинальная карта рельефа дна на неструктурной сетке. Для большей части моря сетка глубин задана с грубым шагом по пространству (10-15 км), а в выбранных прибрежных районах (Керченского пролива, Цемесской бухты и района Сочи) шаг составляет 20-100 м, что позволяет проследить развитие ветрового волнения как в открытом море, так и при выходе волн на мелководье.

В Главе 3 описаны результаты диагностических расчетов волнения и проведена оценка качества воспроизведения волнения на глубокой и мелкой воде. Описаны результаты моделирования экстремального шторма 2007 года. Описана оперативная система прогноза ветрового волнения для Цемесской бухты, Керченского пролива и района Сочи. Оценка качества моделирования волн проводилась на основе сопоставления с данными измерений в Цемесской бухте. Получено, что в целом модель SWAN довольно точно воспроизводит наблюдаемые значения волн, однако при больших значениях высот, больше 2-2.5 м, модельные значения ниже измеряемых, - вплоть до 1 м для максимально наблюдаемых волн высотой 3-4 м. В качестве возможной причины указывается неточность задания важнейшего входного параметра – скорости ветра, которое берется из реанализа. Для открытых областей моря модельные расчеты находятся в хорошем соответствии с данными спутниковых альтиметрических измерений: RMSE составляет около 0.35-0.38 м, коэффициент корреляции 0.85-0.87. В этой же главе описывается система оперативного прогноза волнения с заблаговременностью 72 часа и дискретностью выдачи результатов 3 часа. Входным параметром является поле ветра по модели GFS. Результат представлен в виде карт распределения параметров волнения для всей акватории Черного моря и для прибрежных районов (Керченский пролив, Цемесская бухта, район Сочи).

В Главе 4 приведены результаты численных экспериментов по чувствительности модели к вариациям притока энергии волн от ветра и диссипации. Для этого проводились численные расчеты высоты волн в Цемесской бухте с «отключением» притока энергии от ветра и/или диссипации на некоторой фиксированной акватории (60x60 км), которые далее сопоставлялись

с результаты расчетов по полной модели. В результате этих экспериментов автор пришел к выводу, что в некоторых случаях отключение притока энергии от ветра и/или диссипации не приводит к существенному изменению высот волн в бухте, что позволяет сократить область моделирования без существенных потерь качества воспроизведения волнения.

В Заключение сформулированы основные результаты диссертации.

В качестве **Замечаний** отметим следующее. Непонятна идея и научно-прикладная значимость Главы 4. По замыслу автора эта глава должна дать анализ чувствительности модели волн к вариациям ветровой накачки и диссипации. В качестве вариаций, автор рассматривает предельные состояния,- поведение волн при «выключении» на определенной акватории притока энергии от ветра и/или диссипации энергии. Однако, ответ априорно очевиден: волны затухают, если нет ветра, и волны нарастают, если нет потерь. Численные расчеты, очевидно, подтвердили это результат, при этом расхождение между расчетами по полной модели и с расчетами по модели с выключенным(и) источниками зависит от размера области, где отключаются источники, и расхождения находятся в диапазоне от 0% до 100%, что ожидаемо и без проведения экспериментов.

На основании этих экспериментов делается вывод, что «данный метод можно эффективно использовать с целью максимального сокращения области моделирования, без существенных потерь качества воспроизведения волнения». С этим утверждением трудно согласиться, так как для его применения в каждом конкретном случае (для конкретной конфигурации береговой черты, рельефа дна, направления ветра) требуются предварительные расчеты для оценки размера области и условий когда можно пренебречь влиянием ветра на волны. Как кажется, с практической точки зрения проще один раз провести расчет с фактическим полем ветра, чем выяснять на какой площади и при каких условиях им можно пренебречь, чтоб получить по модели тот же результат, что и с фактическим ветров. Отчасти, эта рекомендация противоречит утверждению автора, сделанным в предыдущих главах, что для более качественного воспроизведения поля волн требуется максимально точное поле ветра.

Диссертация существенно выиграла бы, если б в 4-й главе автор рассмотрел чувствительность модели к выбору типа параметризации источников энергии (включая иные параметризации, не включенные в опции модели), и/или чувствительность модели к стратификации атмосферы (влияющей на приток), и/или влиянию поверхностных течений. Последнее особенно важно для практических приложений. Скорости поверхностных течений весьма значительны в Черном море, особенно в прибрежных зонах. Рефракция волн на течениях (особенно на вихревых образованиях) значительно влияет на перераспределение энергии волн в пространстве, приводя к образованию зон сильной интенсификации и ослабления ветрового волнения. Учет этого фактора имеет явную практическую важность. К

сожалению, автор упустил возможность такого исследования, хотя используемая модель SWAN учитывает взаимодействие волн и течений.

В разделе 4.4 «Чувствительность модели к ограничению длины разгона» автор рассматривает зависимость безразмерной высоты волн от безразмерного периода волн спектрального пика при различных разгонах волн. Зависимость, следующая из модельных расчетов, сравнена с предсказаниями слабо-нелинейной теории волн (Zakharov et al., 2015) и получено хорошее соответствие. На этом основании сделано заключение, что «в модели верно воспроизводятся процессы генерации и распространения волн, в том числе и нелинейное волновое взаимодействие». Здесь, скорее, наоборот: в модели SWAN нелинейные взаимодействия описаны приближенно, с использованием метода DIA, заменяющего интеграл взаимодействий взаимодействием 4-х (или 3-х) заданных резонансных компонент. Это аппроксимация является весьма грубым приближением точного интеграла (см например Gagnaire-Renou, Benoit, Badulin, JFM, (2011), vol. 669, pp. 178–213, рис.1). В модели неточность этого описания компенсируется подгонкой параметров других источников (приток от ветра, диссипация) так, чтоб модельные расчеты «правильно» воспроизводила известные эмпирические законы развития волн от разгона (типа JONSWAP). Теория волн (Zakharov et al., 2015) воспроизводит наблюдения, что доказывает применимость первых принципов гидродинамики для описания эволюции реальных волн. В данном случае соответствие модельных расчетов SWAN теоретическим предсказаниям (Zakharov et al., 2015) не является доказательством «правильного» описания нелинейных взаимодействий, а - следствием тщательной подгонки модели SWAN под данные наблюдений.

Высказанные замечания не умоляют общего положительного восприятия диссертации, и не влияют на ее основные результаты и выводы. Диссертационная работа С.А. Мысленкова является законченным самостоятельным исследованием по созданию вычислительной технологии диагноза и прогноза ветрового волнения в прибрежной зоне Черного моря на основе волновой модели SWAN. Основные результаты работы докладывались на научных семинарах и конференциях, и опубликованы в 6 статьях в журналах, включенных в список ВАК. Работа имеет важное прикладное значение, а ее результаты уже внедрены. Согласно решению центральной методической комиссии Росгидромета (№140-09091/16и от 15 декабря 2016), разработанная система прогноза ветрового волнения в Черном море и шельфовых зонах рекомендована к использованию в качестве вспомогательного инструмента.

Работа выполнена на достаточно высоком научном уровне и отвечает всем требованиям ВАК, а Мысленков С. А. достоин присуждения ученой степени кандидат физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа С. А. Мысленкова была обсуждена и одобрена на расширенном научном семинаре Лаборатории Спутниковой Океанографии РГГМУ 13 сентября 2017 г (протокол семинара № 9/1).

Исполнительный директор Лаборатории
Спутниковой Океанографии РГГМУ,
доктор физ.- мат. наук

Кудрявцев Владимир Николаевич

Личную подпись Кудрявцева В.Н. заверяю

*Начальник управления
кадров*

