

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Кузнецова Александра Михайловна

«ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ
НА КОРОТКИХ РАЗГОНАХ»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

Представленная к защите диссертация Кузнецовой Александры Михайловны посвящена исследованию особенностей развития поверхностного волнения на коротких разгонах, типичных для условий внутренних водоемов, на основе объединения спектральной численной модели WAVEWATCH III и мезомасштабной модели атмосферной циркуляции WRF. Применение численных моделей, настроенных изначально для расчета волн в открытом океане, к исследованию поля волн во внутренних водоемах, приводят к результатам, сильно отличающимся от данных измерений. Этот факт ограничивает/исключает применение «готовых» моделей к условиям внутренних водоемов. Анализ причин расхождения модели WAVEWATCH III с данными измерений, и поиск путей адаптации этой модели к условиям малых разгонов является основной целью данной работы.

Актуальность темы диссертации определяется необходимостью развития моделей ветрового волнения и ветра для прогноза ветро-волновой ситуации на внутренних водоемах. **Научная и практическая значимость** работы состоит в возможности применения ее результатов в оперативных системах гидрометеорологического прогноза и обеспечения безопасности хозяйственной деятельности и судоходства на внутренних водоемах.

Диссертация состоит из Введения, 4-х глав и Заключения. Во **Введении** обосновываются актуальность и практическая значимость работы, приводится краткое описание диссертации.

В **Главе 1** приводится обзор современных волновых и атмосферных моделей, дается более детальное описание волновой модели WAVEWATCH III (далее WW-III) и численной атмосферной модели WRF, являющихся основным инструментом диссертации,

а также – описание района проведения натуральных экспериментов и используемого оборудования. Важным для диссертации результатом этой главы является параметризация коэффициента сопротивления, полученная на основе проведенных измерений, выражение (8). Это выражение играет далее ключевую роль в адаптации модели WW-III к коротким разгонам.

Замечания к Главе 1

Однако предложенная параметризация коэффициента сопротивления (далее CD) вызывает ряд вопросов:

1. Учитывая важность приведенной оценки CD для дальнейшей работы, следовало бы остановиться более подробно на том, как она была получена (по профильным измерениям или спектрам турбулентности), показать измерения, привести их анализ с целью оценки CD, оценить ошибки и пр.
2. Предоставление такой информации особенно важно в связи с тем, что параметризация (8) противоречит общепринятому представлению о поведении CD при малых разгонах (увеличение CD с увеличением обратного возраста волн), что связывается с большой крутизной молодых волн и их малой скоростью относительно ветра. Существенное расхождение между предложенным CD и теми, что представлены в литературе, требует обсуждения.

В Главе 2 обсуждаются особенности моделирования волн на коротких разгонах, и дается описание предложенных модификаций модели WW-III, нацеленных на воспроизведение данных измерений. К особенностям развития волн на малых разгонах относится более интенсивная ветровая накачка (обратно-пропорциональная квадрату фазовой скорости волн пика), и более сильная нелинейность волн, связанная с их большой крутизной на начальных этапах развития. Для адаптации модели WW-III к малым разгонам автор ограничивается модификацией коэффициента ветро-волнового взаимодействия («ветровая накачка» раздел 2.2. и 2.4) и члена, описывающего 4х-волновое взаимодействие ("интеграл столкновений", раздел 2.5).

Модификация ветровой накачки в данной работе осуществляется за счет замены оригинальных CD в каждой из рассматриваемых «ветровых накачек» на параметризацию CD, полученных в экспериментах на Горьковском водохранилище. Эта модификация привела к заметному улучшению соответствия модельных значений высоты значимых волн (H_s) данным наблюдений, однако не привела к существенному улучшению

моделирования частоты спектрального пика, - модельные значения остались существенно выше измеренных.

Для дальнейшей адаптации модели к малым разгонам было предложено произвести подстройку параметров расчета нелинейных взаимодействий на основе широко используемой параметризации DIA. Для этого была составлена программа, минимизирующая отклонения модели от данных измерений, на основании которой были выбраны "оптимальные" параметры DIA. Модифицированная модель WW-III дала значительное улучшение по моделированию периодов волн. В настоящее время модифицированная модель WW-III используется для оперативного прогноза волн на Горьковском водохранилище.

Замечания к Главе 2.

1. Модификация ветровой накачки основана на использовании эмпирического CD полученного автором. Как отмечено в замечаниях к Гл.1, предложенная параметризация CD противоречит известным представлениям о поведении коэффициента сопротивления при малых разгонах, давая существенно меньшие значения при умеренных скоростях ветра. Улучшение соответствия модели измерениям с новым CD свидетельствует о том, что в исходной модели WW-III баланс членов «накачка-минус-диссипация» переоценен для коротких разгонов. Для этой пары членов наибольшие неопределенность содержится в диссипации, которая является «подгоночной функцией источника». Учитывая большую крутизну волн, наиболее естественным было бы сосредоточиться на модификации диссипации, являющейся сильно нелинейной функцией уровня спектра. В этом случае, у автора появилось бы гораздо больше степеней свободы для адаптации модели, и было бы более обосновано, чем вводить новую спорную параметризацию CD в хорошо известные соотношения скорости роста волн.
2. На стр.35 автор утверждает, что «В условиях развитого волнения показано, например, в работах Захарова [17], что механизмом, определяющим развитие ветрового волнения, является нелинейное волновое взаимодействие. В условиях коротких разгонов Горьковского водохранилища мы показали, что основной вклад в развитие волнения вносит именно ветровая накачка». Это очень сильное утверждение, которому я не нашел в работе веских обоснований. Более того, необходимость подгонки 4х волновых взаимодействий (которой посвящен раздел 2.6) для улучшения соответствия модели данным измерений свидетельствует об обратном.
3. На рис.4 я не нашел топографической сетки.

4. На стр. 38 при описании ветровой накачки WAM4, соотношение (18), автор называет τ_w турбулентным давлением, которая на самом деле является волновым потоком количества движения.
5. В этой связи, было бы интересно проверить, как соотносится поток количества движения от ветра к волнам в модифицированной модели WW-III с турбулентным потоком импульса в атмосфере (определяемый CD).

В **Главе 3** приводится приложение адаптированной к коротким разгонам модели WW3 к расчетам волн в других регионах: в прибрежной зоне Финского залива и Персидского залива (разделы 3.2 и 3.3). Показано, что модифицированная модель дает более точные результаты, хорошо сопоставимые с измерениями.

В разделе 3.4. представлены результаты численного моделирования поверхностного ветрового волнения по модели WW3 при использовании данных о ветре из реанализа CFSv2 для урагана Ирма. Приведены расчеты эволюции поля волн в урагане и представлены результаты сравнения модельных высот волн с данными измерений буев NDBC, которые показали хорошее соответствие.

Замечания к Гл.3.

1. Раздел 3.4 выбивается из контекста диссертации, - моделирование волн в ураганах вряд ли можно классифицировать как моделирование волн на коротких разгонах. Кроме этого, эта часть работы могла бы быть оправдана, если б для моделирования использовались те элементы модификации модели WW3, которые обсуждались ранее, однако это не так. Единственным «видимым» результатом этой главы является сопоставление модельных расчетов с данными буев, подтверждающее известную способность модели WW3 воспроизводить волны генерируемые ураганами. Остальные результаты изложены излишне конспективно, без должных пояснений и анализа. Например, анализ рассчитанных полей волн в урагане Ирма сводится к трем предложениям на стр.71: «Моделью было воспроизведено вращение и движение урагана. На Рис. 30 показаны типичные фазы развития ураганов и увеличение его интенсивности. Получена асимметрия распределения поля поверхностных волн». Остается не ясным, стоило ли проводить довольно объемные численные расчеты, чтоб их анализ вместить в эти три предложения.
2. В разделе 3.4.3. приводится «Оценка параметров обменных процессов между океаном и атмосферой». Тема, безусловно, интересная и важная. Идея этого раздела – провести оценку CD и брызг на основании проведенных расчетов полей

волн и ветра. Однако, этот раздел написан слишком конспективно (всего 3 страницы с минимальными пояснениями), поэтому тяжело разобраться как искомые параметры (CD и брызги) связаны с параметрами ветра и волн, и как были проведены расчеты представленные на рис. 33б и рис. 34в. Следовало бы уделить большее внимание в диссертации этой важной проблеме.

В **Главе 4** рассматривается совместная модель, объединяющая волновую модель WW3 и атмосферную модель WRF. Основная задача, - избежать при моделировании волн значительных ошибок связанных с неточным заданием поля ветра в замкнутых водоемах, которое подвержено трансформации при пересечении границы раздела суша-вода. В разделе 4.2. обсуждаются недостатки задания поля ветра в ограниченных водоемах из данных реанализа. В разделе 4.3 и 4.4 описана атмосферная модель WRF, выход которой используется для моделирования волн, и ее адаптация под рассматриваемый регион. В разделе 4.5. представлены поля ветра над территорией, содержащей Горьковское водохранилище. Показывается преимущество полей ветра по модели WRF над данными реанализа, и их соответствие данным измерений. Установлено, что все встроенные параметризации WRF адекватно описывают временную изменчивость полей ветра, соответствующую данным натурных измерений.

В разделе 4.6 описывается процедура объединения моделей WRF и WW3, и приводятся результаты расчетов. Показано, что применение поля ветра из WRF LES для моделирования волнения по WW3 существенно улучшает расчеты волн по сравнению с применением данных реанализа, и приводит их в хорошее соответствие с данными измерений.

В **Заключении** сформулированы основные результаты работы и выводы. В тексте диссертации цитируется 124 работы, достаточно полно отражающих современное состояние проблемы и по теме диссертации.

Высказанные в отзыве замечания носят скорее рекомендательный характер и не подвергают сомнению высокий уровень научных исследований, представленных в диссертации, обоснованность выводов и результатов, а также положений, выносимых на защиту.

Основные результаты диссертации опубликованы в 9 статьях, опубликованных в реферируемых журналах, рекомендованных ВАК, и в 28 статьях в сборниках трудов и в виде тезисов докладов на российских и международных конференциях.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Соискатель продемонстрировал высокий научный уровень, глубокие знания предмета исследования. Диссертационная работа Кузнецовой Александры Михайловны полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а сам автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук,
заведующий лабораторией спутниковой океанографии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

7 октября 2019 г.



Кудрявцев Владимир Николаевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Россия, 192007, г. Санкт-Петербург,

ул. Воронежская, 79

Телефон (921) 912-47-11, факс (812) 633-01-82

E-mail: kudr@rshu.ru

Я, Кудрявцев Владимир Николаевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись доктора физ.-мат. наук В.Н. Кудрявцева удостоверяю.

Нал. управ. Кудрявцев В.Н.
09.10.2019



“09” ОКТАБРЯ 2019