

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Байдакова Георгия Алексеевича

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕТРОВОГО ПОТОКА И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН НА КОРОТКИХ РАЗГОНАХ

представленной на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Байдакова Г.А. посвящена исследованию взаимодействия атмосферы и морской поверхности при коротких разгонах волн, которые характерны для внутренних водоемов и прибрежных зон.

В настоящее время очевидно, что без учета реальных характеристик взаимодействия атмосферы и океана невозможно успешное развитие как моделирования атмосферной циркуляции, так и создаваемых на его основе методов долгосрочного и сверхсрочного прогноза погоды и климата. Поэтому исследование взаимодействия гидросферы и атмосферы становится все более необходимым для понимания природы процессов, протекающих на нашей планете, и дальнейшего развития наук гидрологии, метеорологии и океанологии.

В общей проблеме энергообмена между океаном и атмосферой мелкомасштабное взаимодействие занимает особое место, являясь определяющим в обмене теплом, количеством движения и влагой непосредственно через границу раздела взаимодействующих сред. Теоретическое исследование взаимодействия атмосферы и океана усложняется тем, что мы имеем две взаимодействующих турбулизованных среды очень разной плотности, и само состояние морской поверхности зависит от структуры ветрового потока над ней. Над морем турбулентный поток воздуха может передавать поверхности не только импульс, но и механическую энергию, которая идет на увеличение волнения.

Исследование особенностей взаимодействия атмосферы и морской поверхности во внутренних водоемах очень важно для моделирования регионального климата. Мелкомасштабное взаимодействие атмосферы и водной поверхности является первым звеном в цепочке «пресноводные экосистемы – атмосферная циркуляция и климат». В период, когда озера свободны от ледяного покрова, биохимические, гидро- и термодинамические процессы создают источник/сток энергии (в зависимости от стратификации атмосферы и синоптической ситуации) и источник парниковых газов

(метана и углекислого газа). В дальнейшем из отдельных экосистем формируется общий перенос энергии и примесей в атмосфере, вплоть до синоптических масштабов. Но именно недостаток информации о мелкомасштабном взаимодействии является причиной неадекватности динамики атмосферных процессов в климатических моделях. Поэтому предложенная диссертационная работа, в которой разрабатываются модели и параметризации мелкомасштабных (подсеточных) процессов на основе большого массива данных натуральных экспериментов и лабораторного моделирования, безусловно, актуальна.

Содержание диссертационного исследования

Работа состоит из трех глав, введения и заключения. Во введении раскрывается актуальность диссертационной работы, представляется новизна результатов, их научная и практическая значимость, формулируются положения, выносимые на защиту. Дан краткий обзор публикаций по теме исследований.

В **Главе 1** описывается проведенное на Горьковском водохранилище исследование параметров ветро-волнового взаимодействия с использованием оригинального измерительного комплекса. Автор систематизирует данные измерений коэффициента сопротивления морской поверхности, в результате чего получена параметризация зависимости коэффициента сопротивления от ветра, применимая для волн малых разгонов. Описываются результаты восстановления характеристик ветрового волнения. Продемонстрировано, что в условиях Горьковского водохранилища спектры волнения имеют высокочастотные асимптотики, соответствующие спектру насыщения Филлипса, что говорит о сильной нелинейности волн. Были получены константы насыщения спектров, значения которых имеют большой разброс, но находятся в удовлетворительном согласии с результатами других авторов. Анализ двумерных пространственно-временных спектров показал, что для высокочастотной области хорошо выполняется дисперсионной соотношением для гравитационных свободных волн на глубокой воде.

Глава 2 посвящена лабораторному моделированию ветро-волнового взаимодействия. Представлены оригинальные методы измерений и обработки данных. Проведены измерения коэффициента сопротивления в различных ветровых условиях, в том числе и при сильных ветрах. Данные сопоставляются с результатами натуральных измерений. Исследуются характеристики ветрового волнения в лабораторных условиях. Показано, что в лабораторных условиях высокочастотная часть спектра определяется связанными волнами: наблюдается постоянство фазовой скорости для различных гармоник. Как и в натуральных условиях, высокочастотная асимптотика пространственного спектра соответствует спектру насыщения Филлипса, при этом асимптотика временного спектра

соответствует линейному дисперсионному соотношению, соответствующего связанным волнам. Показано, что аппроксимация натуральных данных хорошо описывает лабораторные результаты.

В **Главе 3** проводится сравнение результатов численного моделирования с использованием квазилинейной модели приводного пограничного слоя атмосферы над взволнованной водной поверхностью и спектральной модели волнения WAVEWATCH III. Приводится сравнение результатов и численного моделирования на базе натуральных данных и полученных экспериментальных результатов. Показано, что использование предложенной параметризации коэффициента сопротивления улучшает согласие результатов численного счета и экспериментальных данных.

В заключении приводятся основные результаты работы и выводы.

Основные результаты и их новизна

В процессе работы получены следующие результаты:

1. При анализе экспериментальных данных получено, что на результат измерения коэффициента аэродинамического сопротивления водной поверхности в условиях малых разгонов оказывает существенное влияние учет низко расположенных датчиков скорости ветра.
2. Установлено, что зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления водной поверхности от скорости ветра немонотонна, а именно, значения уменьшаются с ростом скорости ветра при скоростях ветра до 4 м/с, и имеется тенденция к насыщению при скоростях ветра, близких к ураганным.
3. Из данных лабораторного и натурального экспериментов получено, что на коротких и сверхкоротких разгонах волн высокочастотные асимптотики спектров волнения соответствуют спектру насыщения Филлипса, что указывает на их нелинейный характер.
4. Установлено, что квазилинейная модель приводного пограничного слоя атмосферы над взволнованной водной поверхностью позволяет корректно описать закон сопротивления в приводном пограничном слое в присутствии сильно-нелинейных волн на поверхности воды.

Все результаты, выносимые на защиту в данной работе, впервые получены диссертантом.

Степень обоснованности научных положений и достоверность полученных результатов

Автор диссертации принимал непосредственное участие в разработке методики и измерительной аппаратуры, планировании и проведении экспериментов, описанных в

работе, а также в обработке полученных экспериментальных данных с использованием как разработанных автором, так и сторонних программных решений: автор написал основную часть программного обеспечения, использованного в работе, в том числе программы для получения пространственных спектров по данным волнографов, программы для исследования профилей скорости, получаемых в натуральных условиях, исследования получаемых полей скорости. Для анализа привлекается значительный массив данных как лабораторных, так и натуральных экспериментов. Достоверность полученных в диссертации результатов исследований подтверждается их сопоставлением с данными моделирования.

По теме диссертации опубликовано 36 работ, из них 5 – в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК. Результаты исследований докладывались на научных семинарах, российских и международных конференциях.

Ценность для науки и практики результатов работы

Полученные автором параметризации могут быть использованы в региональных моделях для описания подсеточных процессов, а также для расчета энерго- и газообмена в озерных экосистемах.

Замечания по диссертационной работе в целом

В качестве методов измерений турбулентных потоков автор предлагает использовать метод профилирования, пульсационный и диссипационный методы. В русскоязычной литературе они обычно называются как градиентный метод, метод турбулентных пульсаций и инерционно-диссипативный методы. И, прежде чем рассуждать о недостатках и достоинствах какого-либо метода было бы полезно провести сравнение получаемых из них результатов. Выбранный автором градиентный метод основан на выводах теории подобия Моница –Обухова и предполагает, прежде всего, существование слоя постоянных потоков. Но, как справедливо замечает автор в тексте диссертации, из-за влияния берегов во внутренних водоемах возникает сложная структура пограничного слоя – и законы подобия нарушаются.. Непостоянство вертикальных турбулентных потоков может быть следствием нестационарности метеорологических условий, взаимодействия потока тепла с радиационным потоком и др. причин. В частности, причиной разброса значений универсальных функций подобия может быть радиационная неоднородность температуры подстилающей поверхности, что также характерно для внутренних водоемов.

Для расчета потоков импульса необходимо использовать данные о шероховатости поверхности, но автор не указывает какой метод задания шероховатости он использует.

Так же в случае морской поверхности возникает связанное с наличием волнения нарушение условий подобия в нижнем слое воздуха, толщина которого определяется характерными размерами волн. Кроме того, при определении направления касательного напряжения (над сушей совпадающего с направлением ветра) необходимо учитывать эффект нижнего вращения ветра, обусловленного наличием поверхностного течения. Оба указанных эффекта – волнения и поверхностного течения – накладывают ограничение на выбор нижнего уровня градиентных измерений, который как правило располагается не ниже утроенной высоты волн. В представленной работе, напротив, предлагается учитывать показания датчиков нижнего уровня, что противоречит теории, положенной в основу метода измерений.

Вызывает вопросы и выбор осреднения в 5 мин, что явно недостаточно для определения турбулентных потоков.

При оценке изменчивости коэффициента сопротивления в зависимости от скорости ветра учитывались ли эффекты стратификации, которые при малых ветрах весьма существенны? Сделанный автором вывод о нелинейном характере зависимости коэффициента сопротивления от скорости ветра в общем-то не нов – и нелинейные эффекты при слабых ветрах и насыщение при ураганах активно обсуждаются в литературе.

В условиях небольших внутренних водоемов характеристики приводного слоя и волнения существенным образом зависят от направления ветра и месте расположения датчиков по отношению к береговой линии. Учитывались ли эти эффекты?

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Заключительная оценка

Диссертационная работа Байдакова Георгия Алексеевича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на хорошем научном и техническом уровне. Работа базируется на уникальном массиве данных измерений и представляет хороший пример тщательного теоретического анализа и обработки экспериментальных данных. Большим достоинством работы является привлечение и сопоставление различных методов анализа: натурный эксперимент, лабораторное и численное моделирование. Представленная работа вносит значительный вклад в развитие экспериментальных и теоретических методов исследования взаимодействия атмосферы и морской поверхности и имеет практическую значимость. В работе приведены научные результаты, позволяющие квалифицировать их как законченное и значимое научное исследование. Полученные автором результаты имеют

новый уровень, являются достоверными, а выводы и заключения обоснованными. Результаты диссертационной работы своевременно опубликованы в 36 печатных трудах, 5 из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертационного исследования.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы, а ее автор Байдаков Георгий Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по этой специальности.

Официальный оппонент

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

119017, Москва, Пыжевский пер. 3

Репина Ирина Анатольевна

13.06.2016

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института физики атмосферы им. А.М. Обухова

Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН)

Краснокутская Л.Д.

