

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу  
Байдакова Георгия Алексеевича

### «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕТРОВОГО ПОТОКА И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН НА КОРОТКИХ РАЗГОНАХ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

Диссертационная работа Байдакова Г.А. направлена на решение практически важной задачи, связанной с изучением особенностей взаимодействия ветра и поверхностных волн во внутренних водоемах и прибрежных зонах, где: i) наиболее часто наблюдаются волны с короткими разгонами, для которых характерны большие крутизны и, соответственно, большая нелинейность, чем в открытом океане; ii) а также, из-за влияния близости берега, происходит перестройка воздушного потока при его сходе с суши на воду. Данная задача **актуальна** в силу вопроса применимости и точности используемых параметризаций для коэффициента трения в ветро-волновых моделях, таких как WAVEWATCH, WAM, SWAN, а также для определения обмена импульсом и потоками тепла, примесей для внутренних водоемов и прибрежных зон.

Диссертационная работа состоит из Введения, трех глав, Заключения и списка литературы. Во Введении представлен обзор литературы, содержащий: i) краткое упоминание про ветро-волновые модели WAVEWATCH, WAM, SWAN, и параметризации которые в них используются; ii) описание современных экспериментальных техник измерения параметров воздушного потока близко к поверхности воды; и iii) большое внимание уделено вопросам применения, так называемой, *квазилинейной* модели приводного пограничного слоя над океаном для описания ветро-волнового взаимодействия.

**Первая глава** посвящена исследованию приводного пограничного слоя атмосферы на Горьковском водохранилище с использованием четырех датчиков скорости ветра, установленных на вехе Фруда и одном, пятом - на поплавке. Согласно данным автора, такое решение (использование датчика на поплавке) позволило более правильно провести измерения профиля

скорости ветра и соответствующих напряжений трения над взволнованной поверхностью, содержащей гребни и впадины. Автор получил коэф. сопротивления,  $C_D$ , значения которого серьезно (около 20%) отличаются от общепринятого (параметризация COARE 3.0) и измерений на озерах Джордж и Вашингтон (отличие на 30-50%). При этом, в области малых ветров, слабее 3 м/с, наоборот, наблюдается его некоторое увеличение коэф.  $C_D$  по сравнению с параметризацией COARE 3.0. Автор приводит свой вариант полиномиальной зависимости  $C_D$  от скорости ветра. Также приводятся примеры частотных и пространственных спектров, которые, в результате, следуют закону Филипса, 1968 г. ( $\omega^{-5}$  и  $k^{-3}$ ). На основании чего делается заключение о сильной нелинейности волн по сравнению с тем, как если бы они следовали закону Тобы. Приводятся характеристики уклонов от скорости ветра. Интересным результатом являются приведенные пространственно-временные спектры, указывающие на размытие дисперсионного соотношения из-за эффекта нелинейности.

**Во второй главе** приводятся результаты лабораторного моделирования в ветро-волновом канале ветро-волнового взаимодействия при сверхкоротких разгонах волн. Большой подраздел посвящен описанию особенностей измерений ветрового потока вблизи водной поверхности в условиях сильного ветра и корректной форме пересчета лабораторного турбулентного профиля скорости ветра в условно полубесконечный логарифмический. Был вычислен коэффициент сопротивления  $C_D$ , частотный и пространственный спектры волнения, среднеквадратичные уклоны, и двумерные пространственно-частотные спектры. Было показано, что результаты для параметров турбулентного потока, в частности,  $C_D$ , и характеристик волнения, полученных на водохранилище и в лаборатории хорошо согласуются между собой. Единственным существенным отличием оказался вид асимптотики для частотного спектра  $\omega^{-3}$ . Автор данную асимптотику (которая не соответствует  $\omega^{-5}$  степени) объясняет тем, что для сильно нелинейных волн перестает выполняться линейное дисперсионное соотношение, а дисперсионные соотношения для основных и связанных (вторых, третьих) гармоник начинают накладываться друг на друга, образуя зависимость типа  $\omega \sim k$ , что и приводит к искажению привычной асимптотики  $\omega^{-5}$ , полученной для менее нелинейных волн. Этот результат является очень интересным. Кроме того, зависимость типа  $\omega \sim k$  для сильно нелинейных волн подтверждается независимыми теоретическими расчетами других авторов (Krogstad, 2010).

В третьей главе рассматриваются вопросы о применимости различных моделей для описания характеристик пограничного слоя атмосферы и характеристик поверхностного волнения на коротких разгонах. Исследуются две задачи. Первая – оценка применимости слабо-нелинейной (квазилинейной) модели приводного пограничного слоя атмосферы над взволнованной водной поверхностью для описания параметров воздушного потока. Вторая – оценка применимости прогнозной ветро-волновой модели WAVEWATCH III для описания ветрового волнения на коротких разгонах.

В первой части приводится подробное описание квазилинейной модели приводного пограничного слоя атмосферы над взволнованной водной поверхностью, включая детали замыкания уравнений Рейнольдса. Для расчетов профиля скорости ветра на вход модели подавались экспериментально полученные данные о скорости трения и спектральной плотности волнения. Поскольку спектр в экспериментах мог быть измерен только для длин волн не короче 5 см, для расчетов также использовалась комбинация экспериментального спектра и спектра Elfouhaily для коротких гравитационно-капиллярных волн. Для лабораторного и натурального экспериментов было показано хорошее согласие расчетов скорости ветра,  $U_{10}$ , и коэффициента сопротивления  $C_D$ , с измеренными экспериментально. Для лабораторных условий сильных ветров было показано, что учет спектра коротких гравитационно-капиллярных волн в квазилинейной модели позволяет получить более точное совпадение рассчитанных значений  $U_{10}$  и  $C_D$ , с измеренными экспериментально. По оценке оппонента коррекция составляет около 7% при скоростях ветра более 25 м/с. В случае водохранилища (т.е., более слабый ветер), учет коротких гравитационно-капиллярных волн не приводит к заметному изменению результатов расчетов.

Во второй части приводятся основные детали модели WAVEWATCH III, включая стандартную параметризацию для коэф.  $C_D$ . Продемонстрировано, что использование новой авторской параметризации для коэф.  $C_D$  позволяет уменьшить стандартное отклонение для высоты значимых волн (от экспериментальных для водохранилища) с 52% до 39% по сравнению со стандартной параметризацией.

В заключении сформулированы основные научные результаты диссертационной работы.

По своему содержанию, полученным результатам и характеру выводов диссертация **полностью отвечает** специальности 25.00.29 – физика

атмосферы и гидросферы. По тексту диссертационной работы видно, что автор очень квалифицированно подходит к задаче постановки эксперимента и интерпретации экспериментальных данных. Очень положительное впечатление осталось от разделов: i) посвященных калибровке данных, подверженных возможному влиянию на датчики гидродинамического следа за судном, и ii) технике пересчета профиля течения в ветровом канале на логарифмический в полубесконечном пространстве.

Тем не менее, к представленной работе следует предъявить **следующие замечания.**

Цель работы («оценка применимости квазилинейных моделей ...») не очень хорошо согласуется с основными положениями, выносимыми на защиту, где основной акцент делается на коэф.  $C_D$ . Кроме того, положение, что на коротких разгонах волны являются нелинейными, представляется достаточно тривиальным. Вероятно, следовало бы говорить об особых свойствах нелинейности таких волн, или особенностях их взаимодействия с ветровым потоком (срыв потока с гребней волн и т.п.). Самой оценке применимости квазилинейной модели посвящен короткий подраздел, который теряется в общей массе текста диссертации.

Автор недостаточно хорошо прочерчивает логическую связь, соединяющую все четыре, по сути, задачи. Остается впечатление незавершенности заботы. При этом, необходимо отметить, что диссертация основана на большом количестве экспериментального и теоретического материала, полученного большой группой исследователей, который при более детальной проработке легко может быть развернут в полноценную докторскую диссертационную работу. По мнению оппонента, некоторые моменты могли бы быть опущены, а остальные разделы усилены, что придало бы работе более законченный и более легко воспринимаемый вид.

Во **Введении** автор очень скупо описывает достоинства и слабые места недостатки ветро-волновых моделей. Следует отметить, что по сравнению с работами, которые цитирует автор, произошел значительный прогресс в области моделирования волнения в прибрежных зонах (например, Cavaleri et al. Wave modelling—the state of the art. 2007), которые не упоминаются. Одним из основных результатов, выносимых на защиту, являются исследования коэффициента аэродинамического сопротивления водной поверхности. При этом, во Введении, практически нет обзора литературы, посвященного этому вопросу.

Кроме того, автор производит обобщение, что, в принципе, в контексте его работы можно изучать не только волны с короткими разгонами, но и волны с большими разгонами, поскольку для задач трения и т.п., наибольший вклад дает именно волны коротковолновой части спектра, которые демонстрируют в среднем большую крутизну, чем более длинные. В следующих главах также прослеживается смешение понятий волн с коротких разгоном, молодых волн и т.п. В связи с этим возникает замечание, что название работы следовало бы немного скорректировать в сторону обобщения материала, который излагается в диссертации.

**Первая глава.** По мнению оппонента, вид выбранной параметризации для коэф.  $C_D$  нельзя признать удачным в области слабых ветров, где коэффициент  $C_D$  стремится к бесконечности. Физического обоснования возможности такого поведения  $C_D$  не приводится, а выглядит это, с первого взгляда, странно. На основании закона Филиппса частота в «-5» степени делается заключение о сильной нелинейности волн по сравнению с тем, как если бы они следовали закону Тобы. При этом, не приводится пояснений, почему спектр Филиппса описывает более нелинейные волны, чем спектр Тобы. Также необходимо отметить, что поскольку автор часто упоминает о сильной нелинейности и крутизне рассматриваемых им волн, то следовало бы привести краткий сравнительный анализ крутизны волн водохранилища по сравнению с типичными значениями для океана.

В **третьей главе** не производится сопоставления расчетов с использованием параметризации COARE 3.0, которая как видно из рис. 1.7-1.9 ближе находится к авторской параметризации, чем параметризация WAM. Также есть замечания к корректному представлению волнового числа на графиках в рад/м, использованию разговорного сленга в тексте, а также при сравнении значений необходимо приводить стандартное отклонение и систематическую ошибку (рисунок 3.3). Как уже указывалось выше, чересчур скупо объясняется порядок проведения вычислений в рамках квазилинейной модели. Совершенно не очевидно с первого взгляда и не объяснено, например, почему для расчетов необходимо брать скорость трения  $u_*$  из измерений, поскольку потом производится сравнение со скоростью ветра  $U_{10}$ , которое вычисляется опять же в эксперименте по  $u_*$ .

Однако указанные замечания и пожелания **никоим образом не умаляют** ценность и высокий научный уровень представленной диссертационной работы.

Основные положения работы **достаточно полно опубликованы** в ведущих научных журналах (5 работ в изданиях входящих в базу научного цитирования WoS и, соответственно, рекомендованных ВАК). Апробация работы была выполнена на ряде престижных научных конференций. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Соискатель продемонстрировал высокий уровень квалификации при проведении экспериментальных работ. Представленная диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, а ее автор Г.А. Байдаков, безусловно, заслуживает присвоения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Официальный оппонент

Ивонин Дмитрий Валерьевич,

кандидат физ.-мат. наук,

старший научный сотрудник

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

«Институт океанологии им. П.П.Ширшова Российской академии наук» (ИО РАН)

117997, Москва, Нахимовский проспект д.36

тел: (499) 1247565 (раб.), E-mail: [ivonin@ocean.ru](mailto:ivonin@ocean.ru)

Подпись Д.В. Ивонина заверяю.

Ученый секретарь ИО РАН

кандидат геолого-минералогических наук  Марина

Михайловна

Мария



10 июня 2016 г.