

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Слюняева Алексея Викторовича
**«АНОМАЛЬНО ВЫСОКИЕ МОРСКИЕ ВОЛНЫ: ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И
МОДЕЛИРОВАНИЕ»**,

представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 - Физика атмосферы и гидросферы в диссертационный совет Д 002.069.01 в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук».

Диссертация А.В.Слюняева посвящена исследованию механизмов формирования и развития аномально высоких ветровых волн в океане. Учитывая необходимость улучшения прогноза штормовой активности в оперативных моделях прогноза погоды, значительный ущерб от морских катастроф, число которых возрастает с каждым годом, а также необходимость учета характеристик ветрового волнения в климатических моделях, исследование динамики экстремальных ветровых волн остается одним из наиболее востребованных и в то же время недостаточно разработанных направлений физики моря. В этом смысле отсутствие полномасштабной и всеобъемлющей теории для аномально высоких волн существенно сдерживает успехи в практике их оперативного диагноза и прогноза. Все вышесказанное позволяет заключить, что актуальность работы А.В.Слюняева не вызывает сомнений.

Работа А.В.Слюняева направлена на разработку новых физико-математических моделей для описания модулированных гравитационных волн на поверхности воды и их численное моделирование. Это, с одной стороны, позволило детально исследовать физические механизмы возникновения аномально высоких морских волн, а с другой – предложить новые подходы к их моделированию и параметрическому описанию, что может существенно обогатить существующие оперативные модели прогноза ветрового волнения.

В работе дается детальный обзор немногочисленных сведений об экстремальных ветровых волнах (1-я глава) и делается вывод о крайней скудости наших знаний об этом явлении. Несмотря на детальный анализ всех источников, свидетельствующий о крайне скрупулезном подходе к данной инвентаризации, здесь хотелось бы увидеть четкое постулирование того факта, что не все даже очень большие волны могут быть рассмотрены как "волны-убийцы", также как и многие заурядные (с точки зрения волновых статистик) события могут быть отнесены к таковым. Неявно это прочитывается в главе (см. стр. 24) и недостаток критерия (1.2.1) весь очевиден. В целом, стоило бы избегать терминологии

"волны-убийцы", поскольку она мало что добавляет к данному автором качественному определению, говорящему, что это волны, значительно превосходящие по высотам те, что подчиняются теории развития ветрового волнения.

Глава 2, посвященная механизмам формирования аномально высоких волн в условиях слабой и умеренной нелинейности, является безусловной удачей автора и беспрецедентна по детальности, как аналитического анализа, так и численных исследований. В рамках асимптотического подхода автором получено уравнение пятого порядка по малой нелинейности и дисперсии на эволюцию огибающей, справедливое для различных глубин и, как следствие, для разных режимов нелинейности поверхностных волн. Далее рассмотрена самофокусирующая нелинейность как механизм формирования экстремальных амплитуд и получено решение солитонного типа, для чего предложен остроумный подход с двумя граничными условиями на бесконечности. Принципиальным в этой главе является рассмотрение роста волн аномальной амплитуды в группе достаточно высоких волн, что имеет принципиальное значение для объяснения одного из механизмов их формирования. Автором в этой главе также приведены результаты численной реконструкции характеристик волнения, включая поля скоростей, которые были получены в рамках нескольких подходов – с учетом комбинационных гармоник второго порядка, в рамках теории Стоксовых волн 2-го и третьего порядков и с помощью Кримеровского преобразования. Проведенная верификация результатов реконструкции нескольких записей аномально высокого волнения с помощью расчета полных уравнений гидродинамики показала хорошую достоверность восстановления. Следует заметить, что полезным здесь был бы статистический анализ невосстановленной части записей, что могло бы помочь понять ограничения данного подхода. В частности, на рис. 2.5.7 - 2.5.9 хорошо видны временные изменения в точности верификации (в том числе и на основании уравнения Диста). Детальный анализ в течение одной записи и композиционный по записям позволил бы точно оценить ограничения этого подхода.

В главе 3 представлены результаты по анализу сильнонелинейных сценариев формирования аномально высоких волн. Кстати, в начале главы правильно говорится о возможных ограничениях слабонелинейного подхода (на необходимость детализации которых указывалось выше). На страницах 116-117 автор верно указывает на необходимость рассмотрения эффектов сильной нелинейности. После рассмотрения солитонов огибающей (включая лабораторные эксперименты), автор рассматривает эволюцию волн в рамках

уравнения Эйлера в конформных переменных для бесконечной глубины. Этот подход позволяет рассматривать не огибающую, а отдельно анализировать деформацию гребня, деформацию ложбины и увеличение амплитуды. Делается вывод, что модуляции волн начинают нарастать при параметрах, существенно превышающих значения для слабо нелинейной теории. Комбинированное использование результатов слабо нелинейной аналитической теории и полного по нелинейности численного моделирования позволило получить приближенное аналитическое представление усиления гребней и ложбин на нелинейной стадии развития модуляций, а также описать порог модуляционной неустойчивости интенсивных волн. Другими словами, сильнонелинейная теория позволила отойти от универсальности профиля модуляций, что, возможно, и является принципиальным механизмом формирования волн высоких амплитуд в море.

Стохастическое моделирование аномально высоких волн на глубокой воде (Глава 4) представляет собой методологически крайне ценную часть работы, поскольку позволяет получить и проанализировать массовые модельные данные для проверки выдвинутых гипотез. Обычно такого блока работ не ожидаешь от авторов, занимающихся гидродинамическим анализом, и это безусловное достоинство работы. Здесь получен ряд принципиальных результатов, в частности, усиление групп волн при медленном интегрировании ветрового форсинга, переходы к новым равновесным состояниям, и др. Крайне высоко оценивая крайне интересные и полезные для практики результаты этой главы, следует отметить, что анализ пространственных картин не эквивалентен временным записям (отмечено автором в разделе 4.3), и в этом смысле хотелось бы увидеть более детальный количественный анализ этого несоответствия, даже и с помощью пространственно-временных спектров (почему нет), которые могли бы идентифицировать возможные стоячие (или медленно движущиеся) компоненты.

Наконец, 5-я глава посвящена взаимодействию аномально высоких волн со встречным течением. Во многих работах по аномально высоким волнам (включая те, что называют волнами-убийцами), этот процесс определяется как ключевой для возникновения аномальных (по отношению к фоновым) амплитуд волнения, в частности, в районе течения Агульяс. В данной работе приведено впервые детальное систематическое исследование этого феномена с учетом явлений захвата, которые и стали основным аспектом исследования. В частности, важным результатом представляется выявленная зависимость меры эффективности трехволновых резонансных взаимодействий от скорости течения,

показавшая, что на сильном течении трехволновые взаимодействия могут оказаться доминирующими. В этом смысле, хорошо было бы увидеть количественный анализ условий, соответствующих "сильному" и "слабому" течению. Кроме того, важным моментом является вертикальная структура течения (указано в работе), однако предположение о, например, отсутствии выраженной структуры в течении Агульяс базируется на достаточно устаревших представлениях о динамике этого района.

Указанные по ходу отзыва недостатки являются совершенно не критичными и ничуть не снижают общей крайне высокой оценки работы. В большей степени они являются пожеланиями к развитию исследований на будущее. Работа и автореферат написаны хорошим научным языком, все аналитические выкладки и результаты численных экспериментов выполнены и продемонстрированы с высочайшей тщательностью и аккуратностью. Работы А.В. Слюняева широко известны научной общественности по публикациям в реферируемой литературе и многочисленным публичным выступлениям. Все вышесказанное позволяет заключить, что А. В. Слюняевым представлено решение фундаментальной научной проблемы – анализ механизмов формирования и развитие новых подходов к исследованию аномально высоких ветровых волн – что, без сомнения, соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям. У меня нет сомнений, что А.В. Слюняев заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности "Физика атмосферы и гидросферы".

Заведующий лабораторией взаимодействия океана и атмосферы и мониторинга климатических изменений Института Океанологии им. П.П.Ширшова РАН, член-корр. РАН

Сергей Константинович Гулев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, 117997, г. Москва, Нахимовский проспект д. 36, тел. (499)124-79-85, e-mail: gul@sail.msk.ru

26 января 2016 года

