

«УТВЕРЖДАЮ»  
Врио директора ФГБУН  
Институт океанологии  
им. П.П. Ширшова  
Российской академии наук  
д.б.н. А. В. Гебрук

22.05.2026



## ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу

Досаева Александра Сергеевича

«Численное моделирование нелинейной динамики волн на воде с использованием метода конформных преобразований»,  
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 – Океанология.

Диссертационная работа Александра Сергеевича Досаева посвящена исследованию актуальных задач динамики нелинейных волн на воде. Эффективное применение метода конформных преобразований для двумерных потенциальных течений жидкости дало автору возможность выйти за пределы традиционных приближений слабой нелинейности, двумерности волнения, отсутствия сдвига скорости фонового течения. Применение точных и высокопроизводительных численных моделей позволило получить важные результаты в задачах эволюции гравитационно-капиллярных волн и волн на течениях с ненулевой завихренностью. Предложены важные с практической точки зрения пути развития рассмотренных в диссертации моделей в контексте задач дистанционного зондирования и проблемы параметризации физических процессов на границе океан-атмосфера.

**Актуальность темы диссертации** определяется дефицитом точных результатов для практически важных физических ситуаций динамики гравитационно-капиллярных трехмерных поверхностных волн. Современные методы моделирования и прогноза ветрового волнения в значительной степени базируются на описании морского волнения как случайного поля слабонелинейных волн. Эффекты сильной нелинейности (прежде всего, обрушений), завихренности (вертикальный сдвиг скорости приповерхностного течения), трехмерности (наличие существенно трехмерных пространственных структур в случайном волновом поле), как правило, параметризуются с использованием полуэмпирических или даже эвристических моделей. Последнее обстоятельство адекватно отражено в обзорной части диссертации.

Положительным отличием представленной работы от близких по тематике является постоянно обсуждаемая автором тема пределов применимости исследуемых моделей. Это особенно важно в задачах дистанционного зондирования морского волнения, для эффективного применения которых критичны априорные сведения о связи параметров верхнего слоя океана с наблюдаемыми характеристиками рассеивания электромагнитных волн морской поверхности.

**Научная новизна** определяется, прежде всего, исследованиями волн гравитационно-капиллярного диапазона. Для большого количества задач динамики волнения учет капиллярности ведет лишь к незначительным количественным поправкам. В задачах же дистанционного зондирования, использующих сантиметровый диапазон радиоволн, корректный учет эффектов капиллярности критически важен. Формирование существенно нелинейных структур с характерной капиллярной рябью на переднем фронте волны рассматривается как специфический этап эволюции, на котором развитие обрушения существенно сдерживается действием сил поверхностного натяжения. Соискателю удалось численно построить стационарные решения для необрушающихся волн гравитационно-капиллярного диапазона и оценить характеристики их горизонтальной асимметрии. Этот результат представляет практический интерес в контексте задач дистанционного зондирования.

Публикация результатов в высокорейтинговых международных журналах (например, *Journal of Fluid Mechanics*) и активное участие в международных и национальных научных мероприятиях, по мнению рецензента, гарантируют **достоверность полученных в работе результатов.**

**Личный вклад автора** описан подробно, отражен вклад соавторов в отдельные части совместной работы. Работы из обширного библиографического списка цитируются корректно.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из Введения, четырех глав, заключения и списка литературы. При относительно малом объеме диссертации (106 страниц) работа хорошо иллюстрирована (32 рисунка) и снабжена обширным списком литературы (136 наименований).

Во **Введении** обосновывается актуальность работы, формулируются ее цели и задачи, формулируются результаты и выносимые на защиту положения.

**Первая глава** содержит обзор литературы по моделированию волн на воде. Обзор преследует цель очертить круг задач, в которых применение полностью нелинейных потенциальных моделей более эффективно по сравнению с альтернативами — точными моделями на основе уравнений Навье-Стокса и

слабонелинейными моделями. Следует подчеркнуть обсуждение большого числа работ, выполненных в двадцатом столетии: безусловно положительный факт, свидетельствующий о глубоком овладении автором обсуждаемой тематики. На взгляд рецензента, упоминание имен исследователей следовало бы давать в оригинальном написании, русскоязычная транскрипция иногда сбивает читателя с толку (пример, ссылка 127 Choi -> в тексте Чхве).

**Во второй главе** «О физическом механизме горизонтальной асимметрии необрушающихся гравитационно-капиллярных волн» представлена оригинальная модель волн дециметрового (гравитационно-капиллярного) диапазона. Классическая система уравнений для потенциальных волн дополняется эффектами затухания и ветровой накачки. Поправка, связанная с воздействием ветра, пропорциональна локальной крутизне волнового профиля, а воздействие вязкости моделируется диффузией потенциала. В пределе бесконечно малых амплитуд система дает комбинацию Майлсовского инкремента и классического вязкого декремента волн. Задача сводится к системе типа уравнений Дьяченко, которые обладают улучшенной численной устойчивостью.

Численно исследуются стационарные состояния задачи при постоянной скорости ветра. Делается интересное, неизвестное ранее наблюдение: стационарное состояние (аттрактор), по-видимому, не является единственным. Получены характерные волновые профили с капиллярной рябью на относительно крутом переднем склоне. Проведенное сравнение с результатами численного решения точных уравнений Навье-Стокса и приближенных квазипотенциальных уравнений показывают хорошее качественное и количественное подобие решений. Для полученных решений предложены способы оценки асимметрии волновых профилей и предложена убедительная интерпретация эффекта появления капиллярной «бульбы» на переднем склоне основной волны. Оценки параметров возникающих стационарных волновых структур проведены в широком диапазоне определяющих параметров (длина длинной волны и скорость трения ветра). Показано, что наиболее вероятным диапазоном формирования таких структур является диапазон относительно длинных капиллярных волн 10-20 см. В заключении главы обсуждается согласие с известными экспериментальными результатами и ограничения представленной простой модели.

**В третьей главе** «Численное моделирование уединенных гравитационных волн на глубокой воде с постоянной завихренностью» рассматривается динамика сильно нелинейных волн на потоке с линейным сдвигом скорости. Задача сводится к аналогу системы Дьяченко, учитывающей вертикальный сдвиг

фонового течения. Ранее похожая задача о распространении солитонов на течении с вертикальным сдвигом рассматривалась В.И. Шрирой в слабонелинейном приближении. Автор рассматривает взаимодействие возникающих в этой задаче солитонов. Результаты численного моделирования показывают, что, в отличие от предсказаний уравнения Бенджамина-Оно, фазовые сдвиги солитонов большой амплитуды, измеряемые на конечных временах, не стремятся к нулю с увеличением начального расстояния.

**Четвертая глава** «Моделирование подковообразных волн в рамках квазитрехмерных уравнений движения» посвящена исследованию границ применимости квазитрехмерной конформной модели, предложенной В.П. Рубаном. В ходе попыток воспроизвести процесс формирования подковообразных структур на крутых волнах Стокса автор обнаруживает, что оригинальная модель обладает неустойчивостью, приводящей к росту коротковолновой поперечной ряби. Предлагается регуляризация модели, устраняющая данную нефизичную неустойчивость. В рамках приближенных квазитрехмерных уравнений воспроизводится анализ устойчивости волны Стокса и демонстрируется, что предсказываемый моделью максимальный инкремент 5-волновой неустойчивости удовлетворительно (с погрешностью до 30%) согласуется с известными из литературы результатами анализа в рамках точных уравнений движения. Автор отзывается на свои работы с соавтором диссертанта В.И. Шриры, где были рассмотрены слабонелинейные 5-волновые резонансы (например, Shrira, Badulin, Kharif, 1996, A model of water wave 'horse-shoe' patterns) и рассмотрены близкие вопросы формирования устойчивых трехмерных волновых структур. Использование техники конформных преобразований предоставляет дополнительные возможности выхода за рамки слабонелинейной теории.

В Заключении сформулированы положения, выносимые на защиту.

Недостатки работы связаны, прежде всего, с неточными или многословными формулировками. В качестве примера можно привести второй абзац Введения (второй абзац раздела «Актуальность» автореферата). Неудачно выражение «конфигурации с загибом свободной поверхности» в абзаце 1 на стр.5 диссертации. Там же можно найти неудачную формулировку «данные методы опробуются для решения геофизических задач, находящихся за пределами существовавших ранее областей их применения...». На стр.6 из текста «волны и солитоны экзотической формы, распространяющиеся против направления сдвига скорости» неясно, о каком направлении идет речь. На стр.6 «эволюция случайного волнового поля принципиально трехмерна и в значительной степени управляется 4-волновыми взаимодействиями между неколлинеарными пакетами


волн [17]» уместна была бы ссылка на работу Дьяченко, Львова, Захарова DOI: 10.1016/0167-2789(95)00168-4. Следует заметить, что неудачные формулировки сосредоточены во Введении. Основной текст написан хорошим профессиональным языком.

Диссертационная работа Досаева А.С. обсуждалась на семинаре Лаборатории морских течений ИО РАН 11.02.2026. и удостоилась заслуженного интереса специалистов.

Диссертационная работа Досаева Александра Сергеевича «Численное моделирование нелинейной динамики волн на воде с использованием метода конформных преобразований» является самостоятельной работой, полностью соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. в действующей редакции. Автор достоин присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 — океанология.

Я, Бадулин Сергей Ильич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета.

Доктор физико-математических наук (специальность 25.00.28 – океанология), главный научный сотрудник, руководитель лаборатории нелинейных волновых процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук

 Бадулин Сергей Ильич

«22» мая 2026 г.

Сведения об организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук

Адрес: 117997, г. Москва, Нахимовский пр., д.36

Телефон/факс: +7 (499) 124-75-65

Адрес электронной почты: [badulin.si@ocean.ru](mailto:badulin.si@ocean.ru)

Подпись Бадулина Сергея Ильича заверяю.

Учёный секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, кандидат философских наук



Артемьева Мария Александровна

«22» мая 2026 г.