

УТВЕРЖДАЮ

Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт космических исследований
Российской академии наук,
доктор физико-математических наук,
академик РАН



Петрукович А.А.

«29» декабря 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт космических исследований Российской академии наук
на диссертационную работу
Пиваева Павла Дмитриевича

«РЕАКЦИЯ ОКЕАНА НА ПРОХОЖДЕНИЕ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ»,

представленную на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.6.17. Океанология

Диссертационная работа П.Д. Пиваева выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Морской гидрофизический институт РАН» (ФГБУН ФИЦ МГИ), г. Севастополь. Диссертационная работа посвящена исследованию реакции океана на прохождение тропических циклонов с помощью анализа данных спутниковых наблюдений и математического моделирования.

На отзыв ведущей организации были представлены диссертация (объёмом 182 стр.) и автореферат (объёмом 24 стр.). Текст диссертации состоит из введения, четырёх разделов, заключения, списка сокращений и

условных обозначений, трёх приложений и списка литературы из 168 наименований.

Во **введении** диссертационной работы обоснована актуальность и степень разработанности темы исследования, формулируются цель, задачи работы и положения, выносимые на защиту, показывается научная новизна результатов. Приводится описание методов исследования, структуры и объёма работы, связь с научными программами и проектами. Указан личный вклад соискателя, практическая значимость выполненного исследования, степень достоверности и апробация полученных результатов.

В **Разделе 1** приводятся результаты исследования отклика высоты поверхности океана на прохождение тропических циклонов с помощью модели океана, представляющей его движения в виде суперпозиции баротропной и бароклинных мод. В этом разделе представлены оценки вклада нормальных мод в создаваемые тропическими циклонами аномалии высоты поверхности океана, которые наблюдаются в измерениях спутниковых альтиметров. Кроме того, описан минимальный набор мод и коэффициент сопротивления морской поверхности, с помощью которых можно воспроизвести альтиметрические аномалии уровня моря в следах циклонов.

В **Разделе 2** представлены результаты моделирования поверхностных течений, создаваемых гипотетическими и реальными циклонами, с целью анализа вклада этих течений в доплеровскую скорость морской поверхности и интерпретации данных спутниковых радаров с синтезированной апертурой.

Раздел 3 содержит описание общих представлений о термической реакции океана на прохождение тропического циклона, данных спутниковых измерений температуры поверхности океана и методов обработки этих данных. В разделе даётся описание способа восстановления толщины перемешанного слоя по спутниковым измерениям охлаждения поверхности океана, вызванного прохождением циклонов. Анализируются зависимости

полученных оценок аномалий температуры поверхности океана от параметров циклонов и стратификации вод.

В **Разделе 4** предлагается модель толщины перемешанного слоя, основанная на гипотезе постоянства глобального числа Ричардсона в процессе турбулентного перемешивания. Следующие из модели зависимости безразмерной толщины перемешанного слоя от безразмерной скорости перемещения циклона, скорости радиационного трения и параметра интенсивности апвеллинга проверяются на экспериментальных данных. После определения двух эмпирических констант модели последняя применяется для расчёта аномалий температуры поверхности океана, вызванных прохождением тропических циклонов. Полученные аномалии температуры поверхности сравниваются с результатами применения моделей и параметризаций, предложенных другими авторами. В заключительной части раздела настроенная модель бароклинного отклика объединяется с построенной моделью перемешанного слоя в трёхмерной модели динамической и термической реакции океана, которая применяется для моделирования полей аномалий температуры поверхности, вызванных прохождением четырёх конкретных циклонов.

В **Заключении** приводятся основные результаты диссертационной работы, соответствующие выводам по каждому разделу.

Актуальность работы не вызывает сомнения. Тропические циклоны сильно чувствительны к охлаждению поверхности океана, возникающему под влиянием самого циклона, а оно существенно зависит от реакции динамических полей океана. Факторы, определяющие динамическую и термическую реакцию океана нахождение циклонов, изучены неполно по спутниковым данным. Кроме того, в работе акцентируется внимание на необходимости развития упрощённых моделей реакции океана нахождение циклонов, которые могут эффективно использоваться в исследовательской практике, не уступая при этом по качеству моделирования ключевых полей океана полным численным гидродинамическим моделям.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые установлена возможность описания аномалий высоты поверхности океана в следах циклонов, регистрируемых спутниковыми альтиметрами, моделью бароклинной реакции океана при учёте как минимум первых двух бароклинных мод и при задании коэффициента сопротивления морской поверхности в диапазоне от $2,0 \cdot 10^{-3}$ до $2,5 \cdot 10^{-3}$ при скоростях ветра, характерных для тропических циклонов. Впервые получены оценки вклада поверхностных дрейфовых и бароклинных течений в измеряемую спутниковыми радарми с синтезированной апертурой доплеровскую скорость поверхности океана. Соискателем впервые проведено восстановление толщины перемешанного слоя, сформированного под воздействием циклонов, по аномалиям температуры поверхности, измеренным спутниковыми радиометрами, в следах циклонов, существовавших в Мировом океане с 2010 по 2020 гг. Предложена новая модель толщины перемешанного слоя, которая впоследствии была успешно верифицирована. На основе трёхмерной модели динамической и термической реакции океана, объединяющей настроенную модель бароклинного отклика океана и построенную модель толщины перемешанного слоя, были детализированы механизмы формирования термической реакции океана с горизонтально-неоднородной стратификацией на прохождение циклонов с изменяющимися во времени параметрами.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные в ней результаты являются основой для создания обобщённой трёхмерной модели динамической и термической реакции океана на прохождение тропических циклонов, которая может послужить эффективным и простым в использовании инструментом для решения различных практических и научных задач.

Личный вклад. Выбор тематики диссертационной работы проводился совместно с научным руководителем. Соискателем совместно с научным руководителем обоснована актуальность исследования, поставлена цель

работы и сформулированы основные задачи для её достижения. Диссертантом была отобрана информация о циклонах, существовавших над Мировым океаном с 2010 по 2020 гг., и сформирована база данных их параметров, а также спутниковых измерений температуры поверхности океана и стратификации в океане вдоль траекторий циклонов. Соискателем были разработаны алгоритмы обработки данных, расчёта аномалий температуры поверхности, вызванных прохождением циклонов, и выполнены оценки толщины перемешанного слоя в их следах. Соискателем выполнялись все численные эксперименты и расчёты динамической и термической реакции океана на прохождение циклонов. Лично диссертантом выполнялась оценка констант модели перемешанного слоя и обобщённой трёхмерной модели реакции океана на прохождение тропических циклонов и проводилась валидация этих моделей. Анализ полученных результатов и их интерпретация проводились соискателем совместно с научным руководителем.

Автореферат диссертации в полной мере отражает её содержание и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842.

В диссертации имеются все необходимые ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в том числе – на научные работы соискателя.

Список публикаций соискателя по теме диссертации состоит из 12 работ, из них 4 статьи в рецензируемых научных журналах и 8 тезисов докладов на всероссийских и международных конференциях. Требованиям ВАК при Минобрнауки России удовлетворяют 4 работы в рецензируемых научных журналах, что является достаточным количеством при защите кандидатской диссертации.

Материалы диссертации прошли апробацию на 8 конференциях всероссийского и международного уровня.

Вместе с тем к работе можно высказать следующие **замечания**.

1. В диссертации следовало бы большее внимание уделить вопросам сопоставления полученных модельных оценок с данными спутникового дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Хотя определенные усилия в этом направлении предприняты, не всегда можно признать их вполне удовлетворительными. В ряде случаев (например, при анализе высоты поверхности океана, аномалий температуры поверхности) вместо сравнений геофизических характеристик, непосредственно восстанавливаемых по данным ДЗЗ, применялось сравнение различных производных величин или результатов усвоения данных ДЗЗ в других моделях. Таким образом, результаты сопоставления лишь косвенным образом характеризуют возможности предложенной модели по воспроизведению влияния тропических циклонов на вариации соответствующих характеристик. В других случаях сам выбор типа измерений представляется не самым удачным (например, измерения РСА на борту Sentinel-1A/B для восстановления скоростей поверхностных течений).

2. Выносимые на защиту положения и итоговые выводы к работе следовало бы сформулировать более конкретно. Утверждения о «хорошем» и «удовлетворительном» качестве моделей сами по себе малосодержательны и требуют глубокого изучения всего текста диссертации для понимания сути полученных результатов.

3. Как следствие двух предыдущих замечаний: выводы к работе очень украсили бы результаты оценки погрешностей модельного восстановления тех основных характеристик, которые рассматривал автор: вызванных тропическим циклоном изменений уровня, температуры и скоростей поверхностных течений в океане.

4. Работа представляет собой глубокое теоретическое исследование, однако в части аспектов практического применения для задач ДЗЗ имеет определенные слабости. Так, некоторые использованные аппроксимации (например, альтиметрических измерений) могут быть неприменимы на

практике в реальных условиях при некоторых сценариях развития синоптической обстановки. Фактически, это обстоятельство игнорируется, поскольку итоговый результат носит статистический характер и вклад неудобных случаев считается пренебрежимо малым.

5. Большие сомнения вызывает оправданность применения для оценки воздействия тропического циклона на океан модельных описаний вертикальных профилей океанической толщи с дискретностью в месяц и даже неделю. Дело в том, что за такой интервал времени рассматриваемая область океана могла испытать действие нескольких тропических циклонов или повторное воздействие одного и того же, и возникает вопрос разделения этих вкладов. Близость результатов, полученных при месячной и недельной дискретизации, не столько снимает этот вопрос, сколько вызывает новые. Безусловно, это одно из интересных направлений дальнейшего развития представленной работы.

6. В диссертации есть ряд неудачных формулировок и терминологических неточностей. Не касаясь их всех, хотелось бы, в качестве основного приоритета, порекомендовать соискателю подробнее познакомиться с составом и решаемыми задачами современной международной группировки метеорологических и океанографических спутников, функционирующих на орбите Земли, особенностями и возможностями различных типов научной аппаратуры, установленной на этих спутниках.

Отмеченные недостатки не снижают общую положительную оценку выполненной работы.

Диссертация является завершённым научным исследованием, полностью соответствующим требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Пиваев Павел Дмитриевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17. Океанология.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсуждён и одобрен на семинаре Отдела «Исследование Земли из космоса» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН, протокол № 2025-12 от 25 декабря 2025 г.).

Отзыв составили

Доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник, заведующий отделом «Исследование Земли из космоса» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт космических исследований Российской академии наук
Телефон: +7 (495) 333-43-78
Эл. почта: d.m.ermakov@cosmos.ru



Ермаков Дмитрий Михайлович

Кандидат физико-математических наук,
доцент,
ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории аэрокосмической радиолокации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт космических исследований Российской академии наук
Телефон: +7 (495) 333-42-56
Эл. почта: olavrova@cosmos.ru



Лаврова Ольга Юрьевна

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32

Телефон/факс: +7 (495) 333-52-12

Адрес электронной почты: iki@cosmos.ru

Подписи сотрудников Ермакова Дмитрия Михайловича и Лавровой Ольги Юрьевны заверяю.

Учёный секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), кандидат физико-математических наук



Садовский Андрей Михайлович

«29» декабря 2025 г.