

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИФА им. А.М. Обухова РАН
Академик РАН Семенов В.А.

10 июня 2026

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук

Диссертационная работа Марчук Е.А. «Роль внутренних волн в модуляции процессов тепло- и газообмена между атмосферой и океаном» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА РАН). В период подготовки диссертации соискатель работал в лаборатории взаимодействия атмосферы и океана ИФА РАН.

В 2020 году соискатель окончил магистерскую программу на кафедре метеорологии и климатологии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, а в 2020-2024 гг. проходил обучение в очной аспирантуре Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано ИФА РАН соискателю в 2025 году.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор РАН Репина Ирина Анатольевна.

По результатам рассмотрения диссертации Марчук Е.А. «Роль внутренних волн в модуляции процессов тепло- и газообмена между атмосферой и океаном» принято следующее заключение:

Диссертационная работа Марчук Е.А. посвящена исследованию влияния внутренних волн на процессы тепло- и газообмена между атмосферой и океаном и механизма возникновения пространственно-временной модуляции обменных процессов..

Актуальность работы обусловлена тем, что внутренние волны в океане и внутренние гравитационные волны в атмосфере играют ключевую роль в переносе энергии, импульса и вещества в обеих средах. В океане внутренние волны воздействуют на вертикальное перемешивание, трансформацию водных масс, влияют на динамику и стратификацию. В атмосфере внутренние гравитационные волны воздействуют на

атмосферную циркуляцию, термический режим, генерацию вторичных волн и турбулентность. Дополнительным аспектом актуальности является необходимость совершенствования глобальных и региональных моделей климатической системы включением в них мезомасштабных процессов.

Целью работы является изучение влияния внутренних волн в океане и атмосфере на турбулентные потоки тепла, импульса и концентрации углекислого газа в приводном слое атмосферы с использованием спутниковых и натурных наблюдений, и в выяснении механизма возникновения наблюдаемой периодической модуляции обменных процессов.

Для достижения этой цели были поставлены и выполнены следующие задачи:

Исследовать механизм генерации внутренних волн (ВВ) в океане субмезомасштабными вихрями; исследовать влияние ВВ в океане на флуктуации давления, температуры, скорости ветра и турбулентные потоки тепла и импульса в приводном слое атмосферы; исследовать влияние внутренних гравитационных волн (ВГВ) в атмосфере на вертикальные турбулентные потоки тепла и импульса через поверхность океана; исследовать влияние ВГВ на концентрацию CO_2 в приводном слое атмосферы полярных районов.

Наиболее значимыми результатами работы являются следующие результаты, вынесенные на защиту:

1. Механизм генерации короткопериодных внутренних волн субмезомасштабными вихрями: спиралевидные полосатые структуры на периферии субмезомасштабных вихрей (на примере Мозамбикского пролива по данным PCA Sentinel-1A) являются проявлением внутренних волн с длинами волн порядка 100 м, генерируемых в устойчиво-стратифицированном слое термоклина при адвекции турбулентных неоднородностей плотности круговым течением вихря.

2. Статистически значимая связь между характеристиками внутренних волн в океане и вариациями метеопараметров и турбулентных потоков в приводном слое атмосферы. подтверждена статистически значимыми максимумами когерентности между колебаниями температуры воды на глубинах 10–20 м и флуктуациями атмосферного давления, скорости ветра и температуры воздуха на периодах 4–15 мин, 18–20 мин, 35 мин, 1–3 ч и 4,7 ч. Внутренние волны в океане вызывают модуляцию вертикальных турбулентных потоков тепла и импульса с относительной амплитудой до 40 %, возрастающей с увеличением периода модуляции.

3. Единый дискретный набор периодов модуляции метеопараметров, концентрации CO_2 и турбулентных потоков в приводном слое атмосферы, связанных с внутренними гравитационными волнами (ВГВ) в атмосфере. Характеристики ВГВ для прибрежной зоны Антарктики.

4. Нелинейный механизм формирования «гребенчатых» спектров и множественных гармоник за счёт адвективной модуляции волн. Переменная адвекция частиц среды, вызванная суммарным полем внутренних волн (включая приливы, волны от солнечного терминатора и случайные источники), приводит к модуляции фазы каждой волны в эйлеровой системе координат. Это нелинейное взаимодействие генерирует многочисленные суммарные и разностные гармоники, чем объясняется появление дискретных спектральных максимумов во временных вариациях метеопараметров, концентрации CO₂ и турбулентных потоков.

Все научные результаты, представленные в диссертационной работе, получены автором лично или в соавторстве с коллегами. Соискателю принадлежит ведущая роль в постановке задач диссертационного исследования, подготовке публикаций результатов в научных журналах, а также их представление на конференциях и семинарах. Текст диссертации полностью написан соискателем.

Полученные основные результаты работы докладывались лично автором на 12 международных и всероссийских научных конференциях и семинарах, в том числе: X Международная научно – практическая конференция «Исследования и образование MARESEDU - 2021» (Москва); XIX Международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (Москва, 2021); XVIII Большой Географический Фестиваль (Санкт-Петербург, 2022); Arctic Observing Summit 2022 (Тромсё, Норвегия, 2022); VII Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий (Майкоп, 2023); Конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде «CITES - 2023» (Москва, 2023); Моря России: от теории к практике океанологических исследований (2023 , г. Севастополь); Conference of Atmospheric Physics, Climate and Environment (2023, 2025); VIII Всероссийская научная конференция молодых ученых «Комплексные исследования Мирового океана» (2024, г. Владивосток); XIII Международная конференция по измерениям, моделирования и информационным системам для изучения окружающей среды “Enviromis - 2024”(2024 г., г. Томск); XXI Научной школе «Нелинейные волны» (2024 г., г. Нижний - Новгород); 2025 Xiamen symposium on marine environmental science (2025 г., Сямень, Китай).

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 4 работах, 4 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых Web of Science и Scopus.

Диссертация Марчук Е.А. представляет собой законченное научное исследование, актуальна и выполнена на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, сделанные по ним выводы обоснованы.

Работа отвечает требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России к кандидатским диссертациям, предусмотренным пунктами 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация «Роль внутренних волн в модуляции процессов тепло- и газообмена между атмосферой и океаном» Марчук Екатерины Артемовны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18.- «Науки об атмосфере и климате».

Заключение единогласно принято на заседании отдела динамики атмосферы ИФА им. А.М. Обухова РАН 9 июня 2026 года, на котором были представлены основные результаты диссертации Марчук Е.А. На заседании присутствовал 22 человек, включая 8 докторов наук и 11 кандидатов наук.

Председатель семинара,

Зав. лабораторией геофизической гидродинамики

Д.ф.-м.н.



О.Г. Чхетиани