



«УТВЕРЖДАЮ»

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

30 апреля 2025

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертационная работа Дебольского А.В. «Турбулентный обмен в пограничном слое атмосферы: параметризации на основе вихреразрешающих и осредненных по Рейнольдсу моделей» 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 2015 году соискатель окончил магистерскую программу на кафедре метеорологии и климатологии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, а в 2015-2017 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 Дебольского А.В. «Турбулентный обмен в пограничном слое атмосферы: параметризации на основе вихреразрешающих и осредненных по Рейнольдсу моделей» принято следующее заключение:

Диссертационная работа Дебольского А.В. посвящена исследованию турбулентного перемешивания в атмосферном пограничном слое при различных условиях стратификации с целью разработки параметризаций для моделей Земной системы.

Актуальность работы обусловлена тем, что атмосферный пограничный слой (АПС) представляет собой важнейший элемент системы Земли, влияющий на динамику атмосферы и ее общую циркуляцию. Поэтому важна разработка более точных и вычислительно-эффективных параметризаций процессов турбулентного обмена в АПС, предназначенных для включения в климатические модели.

Целью работы является исследование динамики стратифицированного атмосферного пограничного слоя и разработка параметризаций турбулентного обмена для крупномасштабных моделей общей циркуляции атмосферы.

Для достижения этой цели были поставлены и выполнены следующие задачи:

Диагностика и прогноз высоты конвективного пограничного слоя с использованием интегральных моделей конвективного пограничного слоя атмосферы, их верификация по данным вихреразрешающего моделирования; воспроизведение турбулентного перемешивания при устойчивой стратификации атмосферы с использованием турбулентных замыканий первого порядка на основе локального обобщения теории подобия Монина-Обухова; Разработка и внедрение в модели Земной системы локально одномерной модели турбулентного перемешивания в атмосферном пограничном слое.

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

Разработана интегральная модель конвективного пограничного слоя, основанная на осредненных по высоте уравнениях притока тепла и баланса кинетической энергии турбулентности, с привлечением уточнённых по данным вихреразрешающего моделирования параметров. Модель воспроизводит высоту и коэффициент вовлечения пограничного слоя для случаев свободной конвекции и сдвигово-конвективного режима.

Установлено, что локально-одномерные замыкания первого порядка, предполагающие линейность по параметру устойчивости безразмерного градиента скорости, в целом улучшают качество воспроизведения квазистационарных состояний устойчивых пограничных слоев. Для случаев тонких приземных слоев замыкания, предполагающие независимость безразмерных градиентов от динамической скорости в пределе сильной устойчивости, улучшают точность воспроизведения характеристик турбулентного перемешивания.

Установлено что калибровка параметров турбулентного замыкания первого порядка по данным расчётов вихреразрешающих моделей для устойчиво-стратифицированного пограничного слоя атмосферы позволяет улучшить результаты моделирования атмосферного пограничного слоя даже на грубых сетках модели Земной системы.

Представленная в работе новая локально-одномерная модель турбулентного перемешивания в атмосферном пограничном слое улучшает воспроизведение метеорологического режима приземного слоя атмосферы в модели Земной системы ИВМ РАН.

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 конференциях: European Geoscience Union General Assembly, Вена, (2019/2021), European Meteorological Society Annual Meeting, София/Копенгаген (2015/2018), Вычислительно-информационные технологии для наук об окружающей среде CITES, Москва, (2019/2023/2025); Environmental Observations, Modeling and Information Systems ENVIROMIS, Томск (2020/2024); "Турбулентность, динамика атмосферы и климата", Москва (2018/2020/2022/2024); Non-linear Wave and Processes, Нижний Новгород (2017). А также на семинарах в ИФА им. А.М. Обухова РАН, НИВЦ МГУ и ИВМ РАН.

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 15 работах, 6 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых Web of Science и Scopus.

Диссертация Дебольского А.В. 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 «Турбулентный обмен в пограничном слое атмосферы: параметризации на основе вихреразрешающих и осредненных по Рейнольдсу моделей» Дебольского Андрея Владимировича 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 29 апреля 2025 года, на котором были представлены основные результаты диссертации Дебольского А.В. На заседании присутствовал 21 человек, включая 7 докторов наук и 9 кандидатов наук.

Председатель семинара,

Зав. лабораторией геофизической гидродинамики

Д.ф.-м.н.

О.Г. Чхетиани