

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**диссертационного совета Д 002.096.XX (24.1.130.01), созданного
на базе Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской
академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН),
по диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
аттестационное дело №: _____**

решение диссертационного совета от 24 декабря 2025 протокол № 1

О присуждении **Дебольскому Андрею Владимировичу**, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Турбулентный обмен в пограничном слое атмосферы: параметризации на основе вихреразрешающих и осредненных по Рейнольдсу моделей»**, по специальности 1.6.18 — «Науки об атмосфере и климате» — в виде рукописи принята к защите 1 октября 2025 года диссертационным советом Д 002.096.XX (24.1.130.01), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН); почтовый адрес: 119017, Москва, Пыжевский пер., 3, стр.1; номер и дата приказа о создании диссертационного совета: Приказ Минобрнауки России от 24 октября 2022 г. № 1345/нк.

Соискатель — **Дебольский Андрей Владимирович**, 11 января 1991 года рождения, гражданин России.

В 2015 году соискатель окончил обучение по программе магистратуры на кафедре метеорологии и климатологии географического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» по специальности «Гидрометеорология», выдавшего диплом о высшем образовании. С 2015 по 2017 год соискатель прошел обучение в очной аспирантуре Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН. С

2015 работал (до 2021г. программистом) младшим научным сотрудником в НИВЦ МГУ имени М.В. Ломоносова в лаборатории суперкомпьютерного моделирования природно-климатических процессов, а с 2023 года в лаборатории математического моделирования геофизических пограничных слоев. С 2015 года также работает по совместительству в лаборатории взаимодействия атмосферы океана и океана в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики атмосферы им. А. М. Обухова Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории взаимодействия атмосферы и океана Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики атмосферы им. А. М. Обухова Российской академии наук.

Научный руководитель – гражданин России, доктор физико-математических наук, профессор РАН Репина Ирина Анатольевна, заместитель директора по научно-техническому развитию, заведующая лабораторией взаимодействия атмосферы и океана Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики атмосферы им. А. М. Обухова Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Дружинин Олег Александрович, гражданин России, доктор физико-математических наук, заведующий лаборатории нелинейной физики природных процессов в Федеральном исследовательском центре Институте прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук.
2. Перов Вениамин Леонидович, гражданин России, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела численных краткосрочных прогнозов погоды в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации».

дали положительные отзывы на диссертацию, включающих ряд замечаний, которые не влияют на общую положительную оценку работы.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН) дала положительный отзыв, подписанный Платовым Геннадием Алексеевичем, доктором физико-математических наук, заведующим лабораторией математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере. В отзыве отмечается, актуальность диссертационной работы Дебольского А.В. в области разработки новых схем турбулентного переноса в пограничном слое атмосферы и их использования в климатических моделях. Результаты работы применены при разработке и уточнении блоков параметризации физических процессов в пограничном слое атмосферы для современных атмосферных блоков моделей земной климатической системы. В отзыве указано несколько замечаний, которые, не влияя на общую положительную оценку работы. В отзыве указано, что диссертация Дебольского А.В. соответствует критериям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Дебольский Андрей Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 — Науки об атмосфере и климате. Отзыв ведущей организации составлен по итогам доклада Дебольского А.В. на общеинститутском семинаре ИВМиМГ СО РАН 12 ноября 2025 года.

Основные результаты, полученные соискателем по теме диссертации, изложены в 15 работах, 6 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых Web of Science и Scopus. Зарегистрированы 2 программы для ЭВМ в качестве РИД. Работы посвящены анализу локально-одномерных моделей по данным вихреразрешающего моделирования и реализации замыканий первого порядка, и внедрению новых параметризаций турбулентного перемешивания в климатическую модель. Недостоверные

сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах в диссертации отсутствуют.

Основные работы по теме диссертации:

1. **Debolskiy A. V.**, Mortikov E. V., Glazunov A. V., Lüpkes C. Evaluation of surface layer stability functions and their extension to first order turbulent closures for weakly and strongly stratified stable boundary layer // *Boundary-Layer Meteorology*. — 2023. — Vol. 187, no. 1. — P. 73—93. — DOI: 10.1007/s10546-023-00784-3.
2. Glazunov A.V., Mortikov E.M., **Debolskiy A.V.** Studies of stable stratification effect on dynamic and thermal roughness lengths of urban-type canopy using large-eddy simulation // *Journal of the Atmospheric Sciences*. — United States, 2022. — DOI: 10.1175/jas-d-22-0044.1.19
3. Glazunov A. V., **Debolskiy A. V.**, Mortikov E. V. Turbulent Length Scale for Multilayer RANS Model of Urban Canopy and Its Evaluation Based on Large-Eddy Simulations // *Supercomputing Frontiers and Innovations*. — 2021. — Vol. 8, no. 4. — P. 100—116. — DOI: 10.14529/jsfi210409.
4. Mortikov E. V., **Debolskiy A. V.**, Glazunov A. V., Chechin D. G., Shestakova A. A., Suiazova V. I., Gladskikh D. S. Planetary boundary layer scheme in the INMCM Earth system model // *Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling*. — Netherlands, 2024. — Vol. 39, no. 6. — P. 343—352. — DOI: 10.1515/rnam-2024-0029
5. **Дебольский А. В.**, Степаненко В. М., Глазунов А. В., Зилитинкевич С. С. Интегральные модели проникающей конвекции со сдвигом скорости // *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*. — 2019. — Т. 55, №2. — С.3—16.— DOI:10.31857/S000235155523-16.
6. Варенцов М. И., Репина И. А., Глазунов А. В., Самсонов Т. Е., Константинов П. И., Степаненко В. М., Лыкосов В. Н., Артамонов А. Ю., **Дебольский А. В.**, Печкин А. С., Соромотин А. В. Особенности пограничного слоя атмосферы г. Надыма по данным

экспериментальных измерений и вихреразрешающего моделирования // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2022. — № 6. — С. 64—78. — DOI: 10.55959/MSU0579-9414-5-2022-664-78.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Доктора физико-математических наук, профессора, заведующего отделом физики облаков Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт» **Ашабокова Бориса Азреталиевича**. Отзыв на автореферат положительный. Отзыв без замечаний.
2. Доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника, заведующего отделом «Исследования Земли из космоса» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук **Ермакова Дмитрия Михайловича**. Отзыв на автореферат положительный. Рецензент отмечает, что фразу об улучшение воспроизведения приземной температуры в климатической модели с новой параметризацией турбулентного перемешивания было бы желательно сопровождать количественными оценками.
3. Доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника лаборатории экспериментальной физики океана Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН **Зацепина Андрея Георгиевича**. Отзыв на автореферат положительный. В замечаниях отзыва указывается на отсутствие обсуждения влияния внедренной в климатическую модель параметризации турбулентного перемешивания на воспроизведения фронтальных зон и циркуляций на границы океан-суша.
4. Доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника кафедры океанологии географического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» **Иванова Владимира Владимировича**. Отзыв на автореферат положительный. Отзыв без замечаний.

5. Доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника отдела взаимодействия атмосферы и океана Федерального государственного бюджетного учреждения «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» **Макштаса Александра Петровича**. Отзыв на автореферат положительный. В качестве замечаний отмечено отсутствие сравнений с данными натурных наблюдений и погрешности редакционного характера.

6. Кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника кафедры метеорологии и климатологии географического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» **Согачева Андрея Федоровича**. Отзыв на автореферат положительный. В замечаниях к отзыву рецензент указывает избыточное использование не всегда общепринятых сокращений, а также наличие стилистических и типографических погрешностей.

7. Доктора физико-математических наук, заведующей отделом нелинейных геофизических процессов Федерального государственного бюджетного научного учреждения Института прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН **Троицкой Юлии Игоревны**. Отзыв на автореферат положительный. Отзыв без замечаний.

8. Доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника, главного научного Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт» **Чухарева Александра Михайловича**. Отзыв на автореферат положительный. Отзыв без замечаний.

9. Кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории экологического приборостроения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук **Шелехова Александра Петровича**. Отзыв на автореферат положительный. В замечаниях к отзыву рецензент указывает на неоптимальную формулировку задач и неудачный выбор шкалы на рисунке 6 в автореферате.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации (с их согласия) обосновывается наличием широко известных достижений в соответствующей отрасли науки, публикаций в соответствующей сфере исследования, а также компетентностью и способностью определить научную и практическую ценность диссертации в соответствующей отрасли науки.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: Исследована интегральная модель конвективного пограничного слоя, основанная на осредненных по высоте уравнениях притока тепла и баланса кинетической энергии турбулентности, с помощью данных вихреразрешающего моделирования уточнены параметры модели, что позволяет воспроизвести высоту и коэффициент вовлечения пограничного слоя для случаев свободной конвекции и сдвигово-конвективного режима. Проведена оценка применимости различных замыканий первого порядка с использованием данных LES-экспериментов. Рассматриваемые схемы построены на основе локального обобщения теории подобия Мони́на и Обухова. Показано, что полученные функции устойчивости и замыкания первого порядка, использующие безразмерный градиент линейной скорости, обеспечивают хорошее согласие с данными LES. Оценена применимость рассмотренных универсальных функций для построения «интегральных формул» в приближении приземного слоя на

основе данных вихреразрешающего моделирования, с помощью которого продемонстрировано поведение соответствующих поверхностных схем. Проведен анализ различий в воспроизведении современного климата для среднеклиматических полей, годового хода, а также зонально-осредненных зависимостей приземных метеовеличин между версиями модели со старым и новым замыканием, а также пространственное распределение их ошибок относительно реанализа. Показано, что основные улучшения происходят в тропосфере в полярных областях.

Научная новизна. В работе соискателя разработана численная реализация модели конвективного пограничного слоя атмосферы, которая была верифицирована по данным вихреразрешающего моделирования, а также оценены её параметры. Выполнено исследование набора замыканий первого порядка в формализме локального обобщения теории подобия Мони́на и Обухова для слабо и сильно устойчиво стратифицированного пограничного слоя атмосферы. В климатическую модель ИВМ РАН внедрена обновленная версия схемы турбулентного переноса в атмосферном пограничном слое.

Значение полученных соискателем результатов исследования для науки и практики. Разработанный программный комплекс, реализующий исследованные параметризации турбулентного перемешивания, внедрен в Модель Земной системы ИВМ РАН. Полученные результаты позволяют улучшить воспроизведение современного климата моделью, что также приводит к улучшению климатических и сезонных гидрометеорологических прогнозов, рассчитываемых с помощью данной модели.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием для оценки качества турбулентных замыканий открытых данных межмодельных сравнительных экспериментов и открытостью кода программ для ЭВМ, используемых в данной работе. Результаты исследования не противоречат результатам, полученными ранее другими авторами. Апробация результатов диссертации соискателя проведена на 16

отечественных и международных научных конференциях, школах и семинарах.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все основные результаты диссертации получены им самостоятельно. Постановка задач диссертационного исследования, а также подготовка полученных результатов к публикации в научных журналах и их представлению на конференциях и семинарах, проводилась при участии и поддержке коллег автора Глазунова А.В. и Мортикова Е.В., а также научного руководителя Репиной И.А. Текст диссертации полностью написан автором.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и имеет внутреннее единство, содержит результаты, позволяющие лучше понять поведение параметризаций турбулентного обмена в атмосферном пограничном слое как в одноколоночных тестах, так и в составе климатической модели. Она представляет собой законченную актуальную квалификационную научную работу и содержит новые результаты.

В ходе защиты диссертации соискателю задавали вопросы члены диссертационного совета: доктора наук Еланский Н. Ф. и Горбунов М. Е. Помимо членов диссертационного совета, вопросы соискателю задал с.н.с. ИФА РАН, к.ф.-м.н. **Чечин Д.Г.**, зам.дир. по науке НИВЦ МГУ им. М.В. Ломоносова, д.ф.-м.н. **Степаненко В.М.** и в.н.с. Гидрометцентра России, к.ф.-м.н. **Перов В.Л.** Соискатель Дебольский А.В. ответил на все заданные ему вопросы. Замечания критического характера в ходе защиты диссертации членами диссертационного совета не высказывались.

На заседании 24 декабря 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Дебольскому Андрею Владимировичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 12 докторов наук (по специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании из 18 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0

человек, проголосовали **ЗА** присуждение учёной степени – **13**, **ПРОТИВ** присуждения учёной степени – **0**, недействительных бюллетеней – **0**.

Председатель диссертационного совета
академик РАН, д.ф.-м.н.

В.А. Семенов

Ученый секретарь диссертационного совета
к.ф.-м.н.

А.В. Чернокульский

24 декабря 2025 г.

