

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 26.1.002.01,
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения
«Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской
Федерации» (ФГБУ «Гидрометцентр России»)
Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей
среды (Росгидромета)
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 10.06.2025 г. № 9

о присуждении Борисову Данилу Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата географических наук.

Диссертация «Постпроцессинг численных прогнозов концентраций взвешенных частиц (PM_{10}) и приземного озона (O_3) с использованием моделей машинного обучения» по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате принята к защите 01.04.2025 (протокол № 3) диссертационным советом 26.1.002.01, созданным на базе ФГБУ «Гидрометцентр России» Росгидромета (123376, Россия, Москва, Большой Предтеченский пер., 13, стр.1; Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №1730/нк от 13 декабря 2022 г.).

Соискатель Борисов Данил Владимирович, 1998 года рождения, в 2021 году **окончил** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева». В период с 2021 по 2024 гг. проходил обучение в аспирантуре при ФГБУ «Гидрометцентр России». **Работает** младшим научным сотрудником в ФГБУ «Гидрометцентр России» Росгидромета, в отделе численных краткосрочных прогнозов Регионального специализированного метеорологического центра Москва, в группе

прогнозирования метеорологических условий загрязнения воздуха.

Диссертация выполнена в ФГБУ «Гидрометцентр России», в отделе численных краткосрочных прогнозов Регионального специализированного метеорологического центра Москва.

Научный руководитель – Кузнецова Ирина Николаевна, старший научный сотрудник, доктор географических наук, ФГБУ «Гидрометцентр России», главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты: Виноградова Анна Александровна, доктор географических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук», лаборатория оптики и микрофизики аэрозоля, ведущий научный сотрудник; **Васильев Денис Юрьевич**, доцент, доктор географических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий», Институт математики, информатики и робототехники, кафедра геоинформационных систем, профессор, **дали положительные отзывы на диссертацию.**

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук», г. Томск, в своем **положительном заключении**, утвержденном директором, д.ф.-м.н., член-корр. РАН И.В. Пташником и подписанным председателем секции Ученого совета Отделения радиационных составляющих климата д.ф.-м.н., проф. М.В. Панченко, руководителем отделения, и секретарем секции Ученого совета Отделения радиационных составляющих климата к.ф.-м.н., с.н.с., Н.Н. Щелкановым, **указала**, что диссертация Д.В. Борисова является законченной научно-квалификационной работой в актуальном направлении исследований; автором проведено комплексное исследование методов улучшения качества прогнозов химико-транспортных моделей, основанных на постпроцессинге.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации

обосновывается тематикой исследований и работ в рамках темы диссертации, а именно задачами исследований антропогенных и природных факторов озонового и аэрозольного загрязнения воздуха и их прогнозирования с применением методов машинного обучения с учетом временной и пространственной изменчивости.

Соискатель имеет 28 опубликованных работ по теме диссертации, из них 10 опубликованы в научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 1.6.18 - Науки об атмосфере и климате (географические науки).

Основные результаты по теме диссертации изложены в работах:

1. Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Нахаев М.И., Ткачева Ю.В., Ривин Г.С., Кирсанов А.А., **Борисов Д.В.**, Лезина Е.А. Система прогнозирования качества воздуха на основе химических транспортных моделей // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2019. – № 4 (374). – С. 203-218.

В работе описана созданная в Гидрометцентре России система численного оперативного прогнозирования загрязнения воздуха на основе химических транспортных моделей (XTM) CHIMERE и COSMO-ART. Обсуждаются способы региональной адаптации эмиссий глобальных кадастров ЕМЕР и TNO, описана разработанная методика подготовки данных о реальных выбросах городского автотранспорта для усвоения их химической транспортной моделью. Приводятся примеры эффективного применения статистического постпроцессинга модельных расчетов концентраций. Борисовым Д.В. подготовлены данные для экспериментов и выполнены расчеты с XTM CHIMERE.

2. Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Нахаев М.И., **Борисов Д.В.**, Лезина Е.А. Эффективность коррекции эмиссий для расчетов химической транспортной модели CHIMERE в московском регионе // Оптика атмосферы и океана. – 2020. – Т. 33. – № 6. – С. 441-447.

В работе предложены и описаны способы региональной адаптации данных антропогенных эмиссий зарубежного кадастра ЕМЕР с целью повышения качества прогнозов загрязнений, рассчитываемых химической транспортной моделью (ХТМ). Показана эффективность процедуры коррекции эмиссий в московском регионе, уменьшены погрешности расчетов ХТМ концентрации PM_{10} . Предложенные разработки по региональной адаптации эмиссий могут быть использованы для других регионов России. Борисовым Д.В. подготовлены экспериментальные наборы данных эмиссий и проведены расчеты с ХТМ CHIMERE.

3. **Борисов Д.В., Шалыгина И.Ю., Лезина Е.А.** Исследование сезонной и суточной изменчивости концентраций приземного озона // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2020. – № 3 (377). – С. 122-135.

В работе представлены результаты сравнения сезонной и суточной изменчивости приземного озона и диоксида азота по данным городских станций мониторинга в городах Москва, Берлин и Варшава за 2017–2018 гг. Определена повторяемость случаев с высокими концентрациями озона, представлен анализ эпизода опасного для здоровья содержания озона в воздухе. Борисовым Д.В. проведена обработка данных наблюдений и описание результатов.

4. **Борисов Д.В., Шалыгина И.Ю.** Уточнение данных о землепользовании для расчетов эмиссий в химической транспортной модели CHIMERE на примере нижегородского региона // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2021. – №3 (381). – С.150-161.

В работе, на примере нижегородского региона, предложена процедура уточнения используемых для расчетов химической транспортной модели данных о землепользовании GlobCover с использованием геоинформационных данных OpenStreetMap. Борисовым Д.В. разработаны программы для коррекции данных землепользования, выполнены экспериментальные расчеты, описаны полученные результаты.

5. Кузнецова И.Н., Ривин Г.С., **Борисов Д.В.**, Шалыгина И.Ю., Кирсанов А.А., Нахаев М.И. Моделирование загрязнения приземного воздуха с характерными в период COVID-19 сокращениями эмиссий в атмосферу с использованием моделей CHIMERE и COSMO-ART // Метеорология и Гидрология. – 2022. – № 3. – С. 25-35.

В работе представлены результаты численного моделирования загрязнения воздуха с использованием химических транспортных моделей (XTM) CHIMERE и COSMO-ART в период март — июль 2020 г., выполненного по сценариям 50-60–процентного уменьшения выбросов загрязняющих веществ от антропогенных источников в Московском регионе. Получены оценки уменьшения концентраций CO, NO₂, PM₁₀ в зависимости от сценариев снижения выбросов. Борисовым Д.В. подготовлены экспериментальные наборы данных эмиссий, проведены расчеты с XTM CHIMERE со сценариями снижения выбросов.

6. Кузнецова И.Н., Нахаев М.И., Кирсанов А.А., **Борисов Д.В.**, Ткачева Ю.В., Ривин Г.С., Лезина Е.А. Тестирование и перспективы технологии прогнозирования загрязнения воздуха с применением химических транспортных моделей CHIMERE и COSMO-Ru2ART // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2022. – № 4 (386). – С. 147-170.

В работе представлены результаты тестирования прогнозов химических транспортных моделей (XTM) CHIMERE и COSMO-ART концентраций загрязняющих веществ (NO₂, CO, PM₁₀, O₃) с использованием данных непрерывного мониторинга загрязнения в московском регионе в течение 12 месяцев. С учетом установленных модельных ошибок каждой XTM сформулированы рекомендации для составления оперативного консолидированного прогноза с использованием комплексирования расчетов двух XTM. Борисовым Д.В. подготовлены разноплановые статистические метрики, иллюстративный материал для оценок качества численных

прогнозов загрязнения, выполнен анализ изменений в данных о выбросах кадастра ЕМЕР и описаны результаты.

7. **Борисов Д.В.,** Кузнецова И.Н., Нахаев М.И. Изменения кадастровых данных о выбросах в атмосферу загрязняющих веществ в московском регионе // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2023. – № 2 (388). – С. 156-173.

В работе проведен сравнительный анализ эмиссий кадастра ЕМЕР-2020 с используемыми в химико-транспортных моделях (ХТМ) данными о выбросах загрязнителей в атмосферу ЕМЕР-2013 в связи с переходом на новую версию ХТМ CHIMERE. Представлены и обсуждаются результаты сравнений данных о выбросах в атмосферу Росприроднадзора и ЕМЕР-2019 на территории Москвы. Борисовым Д.В. разработаны программы для сравнительного анализа данных ЕМЕР и Росприроднадзора, проведен анализ межгодовой динамики эмиссий и сравнение данных ЕМЕР и Росприроднадзора, описаны полученные результаты.

8. **Борисов Д.В.,** Кузнецова И.Н. Постпроцессинг численных прогнозов концентраций приземного озона с использованием машинного обучения // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2023. – № 4 (390). – С. 86-104.

В работе представлена подход к коррекции результатов расчетов с химико-транспортных моделью концентраций приземного озона с применением искусственных нейронных сетей (ИНС). Представляются результаты тестирования разработанной ИНС на периодах с повышенным содержанием озона летом и весной. Показана эффективность применения ИНС в виде приближения модельных прогнозов приземного озона к измерениям и лучшего воспроизведения суточной динамики концентраций. Борисовым Д.В. разработаны алгоритмы для создания ИНС, выполнены сбор, анализ и обработка данных для обучения, разработаны ИНС (экспериментальный поиск оптимальной конфигурации ИНС). Выполнено тестирование ИНС, анализ и описание результатов.

9. Кузнецова И.Н., Ткачева Ю.В., **Борисов Д.В.** Методы прогнозирования метеорологических условий, влияющих на загрязнение приземного воздуха // Метеорология и Гидрология. – 2024. – № 8. – С. 87-103.

В работе предложен основанный на данных численной модели комплексный метеорологический показатель рассеивания загрязнения (МПРЗ) для заблаговременного прогнозирования неблагоприятных метеорологических условий, представлен алгоритм расчета часового и периодного показателя. Проанализированы результаты верификации метода по данным наземных и высотных наблюдений. Борисовым Д.В. проведен анализ связей среднего городского загрязнения с МПРЗ в отдельные сезоны; принимал участие в разработке способов визуализации прогнозов метеопрофилей.

10. **Борисов Д.В.**, Кузнецова И.Н. Интегрирование химической транспортной модели и искусственной нейронной сети для прогноза концентрации PM_{10} // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2024. – № 3 (393). – С. 42-63.

В работе представлена гибридная модель для прогнозирования приземных концентраций PM_{10} на территории московского региона, состоящая из химической транспортной модели (ХТМ) и искусственной нейронной сети (ИНС). Проведен анализ эпизодов повышенных концентраций PM_{10} , обусловленных переносом частиц из удаленных районов и/или загрязнением локальными источниками при неблагоприятных для рассеивания загрязнения метеоусловиях. Борисовым Д.В. проведена разработка алгоритмов для создания гибридной модели, проведены сбор, анализ и обработка данных для обучения, разработка ИНС. Выполнено тестирование гибридной модели, анализ и описание результатов тестирования.

Получено 4 свидетельства Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ:

1. Борисов Д.В., Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н. Программа автоматического постпроцессинга модельных расчетов средних суточных и максимальных суточных концентраций CO , NO_2 , PM_{10} // Свидетельство о

государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020664018. Дата государственной регистрации 06 ноября 2020 г.

2. Борисов Д.В., Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Нахаев М.И. Программа коррекции типов землепользования базы данных Globcover с использованием геоинформационных данных OpenStreetMap для территории нижегородской агломерации // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021664011. Дата государственной регистрации 27 августа 2021 г.

3. Борисов Д.В., Нахаев М.И. Программа считывания, обработки и визуализации кадастровых данных объемов антропогенных эмиссий // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022680113. Дата государственной регистрации 27 октября 2022 г.

4. Борисов Д.В. Программа сравнительного анализа данных о выбросах газов-загрязнителей воздуха и взвешенных частиц зарубежного кадастре ЕМЕР и Росприроднадзора // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024680516. Дата государственной регистрации 29 августа 2024 г.

На автореферат диссертации получено 6 отзывов, все положительные, содержащие следующие основные замечания и вопросы:

В отзыве к.г.н. Ильина И.С. отмечается, что в автореферате не отображен анализ качества данных измерений и их репрезентативность. В отзыве д.ф.-м.н. Коновалова И.Б. указывается на отсутствие в автореферате информации о версии химико-транспортной модели и способе задания граничных условий в ней, а также информации о том, каким образом в рамках разработанной модели машинного обучения обеспечивается обобщающая способность нейронных сетей. В отзыве к.ф.-м.н. Лукьянова А.Б. отмечается недостаточность информации о крупномасштабных моделях, определяющих граничные условия для региональной модели. В своем отзыве к.г.н. Захарова П.В. ставит вопросы о применимости разработанной системы для других загрязняющих веществ и возможности апробации иных методов

машинного обучения в т.ч. с использованием текущих данных наблюдений на автоматических станциях в Москве. В отзыве к.г.н. Локощенко М.А. имеются вопросы касательно причин пространственных различий в результатах коррекции прогнозов концентраций с помощью моделей машинного обучения и вывода о малом вкладе скорости ветра как одного из предикторов. В отзыве к.г.н. Варенцова М.И. отмечается, что не хватает детальных оценок о том в какой степени предлагаемый подход позволяет воспроизводить основные пространственные закономерности поля загрязнений в мегаполисе, не хватает оценок влияния общего содержания озона, как одного из предикторов модели, на качество разработанной модели; а также, что следовало уделить больше внимание сравнению особенностям работы различных моделей машинного обучения. Также в отзыве отмечается, что не отражена степень новизны в сравнении и неудачно сформулированные 2 и 3 защищаемые положения.

Соискателем были даны аргументированные ответы на замечания и вопросы ведущей организации, официальных оппонентов и из поступивших отзывов на автореферат.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований **изучены** методы повышения качества прогнозов химико-транспортных моделей, **исследованы** особенности пространственно-временной изменчивости приземных концентраций озона и твердых взвешенных частиц диаметром менее 10 мкм на территории московского региона; **предложена** методика построения моделей машинного обучения для постпроцессинга численных прогнозов приземных концентраций загрязняющих веществ; **разработаны** модели машинного обучения для постпроцессинга прогнозов химико-транспортной модели CHIMERE приземных концентраций озона и твердых взвешенных частиц диаметром менее 10 мкм.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке методики построения моделей машинного обучения для постпроцессинга численных прогнозов приземных концентраций загрязняющих веществ.

Созданные по разработанной методике модели машинного обучения позволяют улучшить прогнозов приземных концентраций озона и взвешенных частиц PM_{10} , в том числе на территориях, где нет данных измерений.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики заключается в решении важной научной задачи, имеющей существенное значение для развития экологического прогнозирования в России – повышении качества прогнозов химико-транспортной модели. Созданный соискателем универсальный программный комплекс охватывает полный цикл разработки моделей машинного обучения для постпроцессинга численных прогнозов приземных концентраций загрязняющих веществ на регулярных сетках варьируемого разрешения, не имеет строгой географической привязки и применим для регионов, обеспеченных прогнозами химико-транспортной модели.

Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов подтверждается тестированием разработанных моделей машинного обучения на независимых выборках, которые включают различные метеоусловия формирования атмосферных загрязнений, в том числе периоды повышенных концентраций.

Личный вклад соискателя заключается в разработке методики построения моделей машинного обучения, реализации методики в виде создания моделей машинного обучения и их тестирование; создании универсального программного комплекса. Все результаты исследования получены, проанализированы и описаны автором лично или в соавторстве с научным руководителем, доктором географических наук, Кузнецовой Ириной Николаевной.

Автор принимал непосредственное участие в написании статей, подготовке и представлении научных докладов, в том числе в качестве докладчика.

Диссертационный совет отмечает, что диссертация Д.В. Борисова выполнена на высоком научном уровне, представляет собой научно-

квалификационную работу, имеющую научную новизну и важные практические приложения. С помощью разработанной автором методики созданы модели машинного обучения, которые могут применяться для повышения качества производимых в ФГБУ «Гидрометцентр России» ежедневных прогнозов химико-транспортной модели CHIMERE приземных концентраций озона и твердых взвешенных частиц диаметром менее 10 мкм.

Диссертация Д.В. Борисова является завершенным научным исследованием и соответствует требованиям пунктов 9 и 10 «Положения о присуждении учёных степеней», а её автор, Д.В. Борисов, заслуживает присуждения учёной степени кандидата географических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

На заседании 10 июня 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Данилу Владимировичу Борисову ученую степень кандидата географических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.6.18 и отрасли наук – географические науки, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 16, против - нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета



Р.М. Вильфанд

Ученый секретарь диссертационного совета



М.В. Шатунова

11.06.2025 г.