

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Васильева Дениса Юрьевича

на диссертационную работу Борисова Данила Владимировича

“Постпроцессинг численных прогнозов концентраций взвешенных частиц (PM₁₀) и приземного озона (O₃) с использованием моделей машинного обучения”,
представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук
по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате

Актуальность темы исследования. Диссертационная работа Борисова Д.В. посвящена изучению пространственной и временной изменчивости загрязнения приземного воздуха озоном (O₃) и твердыми взвешенными частицами (PM₁₀) в московском регионе с применением современных методов их численного прогнозирования, с проведением анализа и практической реализации методов повышения качества прогнозов воздушного загрязнения на основе моделей машинного обучения. Объектом исследований в диссертации были два актуальных загрязнителя воздуха – O₃ и PM₁₀. Известно, что высокое загрязнение приземного воздуха озоном и взвешенными частицами может оказать негативное влияние на здоровье человека и привести к увеличению смертности. Поэтому заблаговременное предупреждение о повышении содержания O₃ и PM₁₀ в приземном воздухе является ключевой целью при прогнозировании качества воздуха; современные химические транспортные модели (ХТМ) служат инструментом для численного прогнозирования. Применение стремительно развивающихся методов машинного обучения (ММО) для постпроцессинга расчетов химической транспортной модели с использованием данных измерений концентраций может способствовать повышению качества численных прогнозов приземных концентраций озона и взвешенных частиц PM₁₀.

Содержание диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка используемых источников и литературы из 129 наименований. Общий объем диссертации составляет 152 страницы. Диссертация содержит 63 рисунка и 5 таблиц.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, приведены положения, выносимые на защиту, а также научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе диссертации кратко приводится история развития методов прогнозирования качества воздуха, описываются современные системы прогнозирования на основе химических транспортных моделей. Подробно описаны несколько

национальных и интернациональных систем на основе ХТМ с приведением оценок качества прогнозов концентраций O_3 и PM_{10} . Также обсуждаются различные методы повышения качества прогнозов ХТМ и практики применения моделей машинного обучения для прогнозирования концентраций загрязняющих веществ. В разделе 1.4 приводится опыт интеграции ХТМ и моделей машинного обучения, позволяющих улучшить качество прогнозов концентраций.

Во второй главе описаны использованные в работе методы и данные концентраций O_3 PM_{10} . Автором изучен и описан применяемый в работе метод искусственных нейронных сетей. По 5-летнему ряду данных (2019-2023 гг.) измерений концентраций на автоматических станциях контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА) в московском регионе проведен анализ сезонной и суточной изменчивости концентраций O_3 и PM_{10} , описаны основные факторы и условия повышения концентраций до опасных значений. Описаны использованные в работе архивные численные прогнозы метеопараметров и концентраций на территории московского региона за почти 6-летний период 2019-2024 гг. Здесь же приводится анализ качества прогнозов ХТМ концентраций O_3 и PM_{10} на территории московского региона за 2023 г.

В главе 3 описаны разработанная автором методика построения моделей машинного обучения для постпроцессинга численных прогнозов приземных концентраций загрязняющих веществ и реализация разработанной методики в виде построения ММО для постпроцессинга прогнозов концентраций O_3 (ММО- O_3) и PM_{10} (ММО- PM_{10}) на территории московского региона. Разработанная методика заключается в обучении моделей на наборе численных часовых прогнозов концентраций и метеопараметров с использованием в качестве целевой переменной часового измерения концентрации целевого загрязнителя в соответствующем прогнозам узле регулярной сетки. Разработанные таким образом ММО потенциально применимы для улучшения прогнозов концентраций во всем расчетном домене ХТМ, в том числе на территориях (в узлах регулярной сетки), где отсутствуют измерения концентраций. Описаны составы и объемы сформированных обучающих выборок для разработки ММО- O_3 и ММО- PM_{10} , а также приведены результаты экспериментального поиска оптимальных конфигураций ММО- O_3 и ММО- PM_{10} .

В главе 4 приводятся результаты верификации разработанной модели машинного обучения для постпроцессинга численных прогнозов концентраций приземного озона на территории московского региона на независимой выборке за период март-сентябрь 2024 г. (7 месяцев). Делается вывод об эффективности разработанной ММО- O_3 , позволяющей приближать рассчитанные ХТМ концентрации O_3 к наблюдаемым, в первую очередь, при

неблагоприятных для очищения воздуха метеорологических условиях. Показано, что применение ММО-О₃ обеспечивает существенную коррекцию описываемой в ХТМ суточной динамики О₃ и повышение ее воспроизводимости.

В главе 5 приведены результаты верификации разработанной ММО для постпроцессинга численных прогнозов концентраций взвешенных частиц РМ₁₀ на независимой выборке за период март-сентябрь 2024 г. Проведен многосторонний анализ эффектов постпроцессинга численных прогнозов концентраций с применением ММО-РМ₁₀ в целом и в отдельные месяцы тестовой выборки, показаны эффекты коррекции прогнозируемой ХТМ суточной изменчивости РМ₁₀. Подробно обсуждается эффективность применения ММО-РМ₁₀ в эпизодах повышенных концентраций РМ₁₀, обусловленных НМУ и дальним переносом взвешенных частиц. Обосновывается применимость разработанных ММО для постпроцессинга численных прогнозов на территориях, где отсутствуют измерения концентраций. Приведены примеры ММО-постпроцессинга прогностических полей концентраций О₃ и РМ₁₀, рассчитанных ХТМ для всей территории московского региона.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна полученных результатов состоит в разработке методики построения моделей машинного обучения для постпроцессинга численных прогнозов концентраций загрязняющих веществ с последующей верификацией применительно к территории московского региона.

Теоретическая и практическая значимость выводов и рекомендаций диссертанта определяется тем, что реализованные по разработанной в диссертации методике модели машинного обучения позволяют улучшать качество прогнозов приземных концентраций О₃ и РМ₁₀, рассчитанных по химической транспортной модели, в том числе для территорий, где отсутствуют инструментальные измерения концентраций. Разработанные модели машинного обучения могут применяться для оперативного постпроцессинга численных часовых прогнозов приземных концентраций О₃ и РМ₁₀ на модельной сетке с горизонтальным шагом 2 км × 2 км для территории московского региона. Созданный автором 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 географической привязки и применим для регионов, обеспеченных прогнозами ХТМ и непрерывными измерениями концентраций.

По теме диссертации опубликовано 28 работ, в том числе 10 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией, 10 публикаций в материалах

международных конференций. Автором получены 4 свидетельства Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы подтверждается тестированием разработанных моделей машинного обучения на независимых выборках. Эффективность применения ММО-постпроцессинга прогнозов концентраций O_3 и PM_{10} на территориях, где отсутствуют измерения концентраций, доказана с использованием метода исключения станции мониторинга из обучающей выборки ММО. Разработка ММО проводилась с использованием метода k-блоковой валидации моделей по обучающим выборкам, которые охватывают 5-летний период часовых прогнозов и измерений концентраций O_3 и PM_{10} .

Положения, выносимые на защиту, сформулированы корректно и находят развернутое подтверждение в тексте диссертации. Представленные в диссертационной работе методика, модели машинного обучения, программный комплекс полностью спроектированы, реализованы и протестированы лично автором. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

Некоторые замечания по диссертационной работе:

1. По тексту диссертационной работы в описании результатов корреляционного анализа встречаются определения «лучшая корреляция» и «худшая корреляция», тогда как корректной интерпретацией градации значений коэффициента корреляции следует считать «высокая корреляция» и/или «слабая корреляция». Это относится, например, к стр. 16 при описании метрики точности прогнозов концентраций O_3 и PM_{10} по моделям SILAM и LOTOS $r=0,78$, а в модели MOCAGE $r=0,34$.
2. В описании применения методов машинного обучения, в основном, цитируется работа [Masood and Ahmad, 2021] и практически отсутствуют ссылки на пионерские работы в этой области, например, работы Pierrette B., Young B.
3. На стр. 34, в формулах (2.2) и (2.3) для функции активации суммарного сигнала необходимо привести более подробное описание применяемой процедуры.
4. На стр. 55, рис. 2.13б – для лучшего понимания этого рисунка, по оси абсцисс необходимо указать физические параметры и единицы их измерения.
5. На стр. 58, рис. 2.15, нет привязки к географической сетке, подпись шкалы часовых концентраций PM_{10} не соответствует пояснениям в названии рисунка, а именно $\mu g/m^3$ и $мкг/м^3$.
6. На стр. 69 и 72, рис. 2.23 и 2.26 на левой оси ординат не обозначена физическая величина и ее размерность.

7. Стр. 77 и 78, рис. 3.1 и 3.2 для лучшего восприятия необходимо было реализовать в MS-Visio.
8. Стр. 81-83, фрагменты рис. 3.3. и 3.4. разделены, рис. 3.3 по сути не рисунок, а таблица.
9. Стр. 102, 104, 106, 120, 123, 125, 127 и 128, рис. 4.4, 4.5, 4.6, 5.4, 5.8, 5.10, 5.12 и 5.14 на левой оси ординат не обозначена физическая величина и ее размерность.

Общая оценка работы. Высказанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Борисова Данила Владимировича, которая представляет собой законченную научно-квалификационную работу и соответствует паспорту специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате. Диссертация Борисова Д.В. удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (с изменениями на 25.01.2024 г.), а Борисов Данил Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Официальный оппонент:

Васильев Денис Юрьевич

доктор географических наук, доцент,

профессор кафедры геоинформационных систем

Института информатики, математики и робототехники

Уфимского университета науки и технологий (УУНиТ)

Тел.: +7 908-350-3548

E-mail: vasilev.dyu@uust.ru

Адрес: 450008 Приволжский федеральный округ, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, дом 12, корп. 6, ком. 302

Я Васильев Денис Юрьевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.



/ Васильев Д.Ю. /

09.04.2025 г.

Подпись Васильева Дениса Юрьевича заверяю.

Ученый секретарь УУНиТ,

кандидат филологических наук, доцент



/ Ефименко Н.В. /

09.04.2025 г.