

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертационную работу
Ладохиной Екатерины Михайловны
«Численное моделирование влияния свойств городской
застройки Санкт-Петербурга на метеорологические поля»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.6.18 Науки об атмосфере и климате

Диссертационная работа Е.М. Ладохиной посвящена созданию оптимальной конфигурации мезомасштабной модели атмосферы для г. Санкт-Петербург и Ленинградской области, позволяющей наиболее точно учесть влияние городской застройки на метеорологические условия в атмосфере. В работе предложен метод оценки чувствительности метеорологических полей в мезомасштабных моделях атмосферы к параметрам подстилающей поверхности, который использовался для анализа и уточнения параметризаций городского слоя.

Актуальность темы. Актуальность темы диссертационной работы связана с необходимостью создания вычислительных технологий для уточнения прогноза погоды, в том числе и прогноза экстремальных явлений, в условиях растущей урбанизации территорий. Данная задача представляется в особенности важной для крупных мегаполисов, таких как г. Санкт-Петербург, и на сегодняшний день, несомненно, требует уточнения и анализа параметризаций подсеточных процессов в мезомасштабных и глобальных моделях, описывающих взаимодействие атмосферы с сильно неоднородной городской поверхностью.

Новизна полученных результатов. Новизна результатов диссертационной работы Ладохиной Е.М. заключается в создании новой конфигурации мезомасштабной модели атмосферы WRF-ARW для г. Санкт-Петербург, оптимизированной для учета наиболее полной информации о характеристиках подстилающей поверхности и застройке, а также включающей многоуровневую параметризацию BEP-BEM городского слоя. Для оптимизации параметризаций городского слоя в диссертационной работе разработаны вычислительно эффективные методы анализа чувствительности прогностических полей моделей атмосферы к параметрам, определяющим свойства урбанизированных территорий, на основе обобщения метода Соболя и использования суррогатного моделирования.

Достоверность выносимых на защиту положений и выводов. Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждаются использованием моделей, верифицированных и проанализированных в научных работах, в том числе опубликованных автором по теме диссертации, анализом результатов численного моделирования с помощью созданной конфигурации мезомасштабной модели для г. Санкт-Петербург и их верификацией в соответствии

с методическими рекомендациями для метеорологических прогнозов по данным действующей сети метеорологических наблюдений ФГБУ «Северо-Западное УГМС» и доступных спутниковых данных. Результаты диссертационной работы Ладохиной Е.М., согласно справке ФГБУ «Северо-Западное УГМС», направленной в диссертационный совет ФГБУ «Гидрометцентр России», были внедрены в оперативную практику и позволили уточнить краткосрочный прогноз метеорологических параметров.

Научная и практическая значимость результатов. Научная значимость полученных результатов диссертационной работы Ладохиной Е.М. заключается в сравнительном анализе параметризаций городского слоя с помощью разработанной методики для определения наиболее значимых параметров урбанизированной поверхности, влияющих на воспроизведение мезомасштабными моделями метеорологических условий в нижней атмосфере.

Практическая значимость работы заключается в создании оптимальной конфигурации мезомасштабной модели WRF-ARW с уточненным описанием городской поверхности и ее внедрении в оперативную практику ФГБУ «Северо-Западное УГМС».

Результаты, полученные в диссертации, могут быть рекомендованы к использованию в институтах РАН, университетах и других учреждениях Российской Федерации, в которых проводят исследования влияния городской среды на метеорологические условия с помощью численного моделирования.

Структура работы. Диссертационная работа Е.М. Ладохиной состоит из введения, четырех глав, заключения, включает список сокращений и обозначений. Полный объем диссертации составляет 142 страницы, 45 рисунков, 11 таблиц и 1 приложение. Список литературы содержит 142 наименования работ отечественных и зарубежных авторов.

Во **введении** обосновывается актуальность диссертационной темы, обозначается объект и предмет исследовательской работы, формулируется цель и основные задачи, представлены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** приводится обзор исследований о влиянии урбанизированных территорий на метеорологические поля (в частности, на формирование острова тепла и влажности, распределение скорости ветра и аномалии осадков) на основе анализа как данных наблюдений, так и результатов численного моделирования. Рассматриваются существующие подходы для параметризации городского полога в моделях атмосферы. Отдельный раздел главы посвящен анализу исследований и обобщению метеорологических наблюдений для г. Санкт-Петербург.

Вторая глава работы посвящена результатам анализа сети станционных наблюдений для г. Санкт-Петербург и Ленинградской области, выявлению периодов наиболее значимых аномалий в метеорологических условиях, связанных с воздействием городской застройки, в том числе для проведения расчетов с мезомасштабной моделью. Приведенные в главе результаты исследования позволили количественно оценить городской остров тепла, провести анализ воздействия урбанизированной территории на скорость ветра и осадки.

В третьей главе описывается разработанная методика на основе метода Соболя для изучения чувствительности моделей атмосферы к заданию свойств подстилающей поверхности, приводятся результаты изучения чувствительности различных конфигураций мезомасштабной модели к параметрам, характеризующим городскую застройку г. Санкт-Петербург.

Четвертая глава посвящена анализу и верификации численного моделирования влияния урбанизированной территории г. Санкт-Петербург на метеорологические поля, обобщению полученных результатов для построения оптимальной конфигурации модели WRF-ARW, включающей многоуровневую параметризацию городского слоя и уточненные данные о геометрических свойствах застройки.

В заключении приведены результаты работы и перспективы дальнейших исследований.

Основные результаты диссертации опубликованы соискателем в четырех научных статьях, включенных в перечень ВАК, и семи публикациях в материалах научных конференций. Материалы диссертационного исследования докладывались на российских и международных конференциях. Автореферат диссертации и опубликованные работы соответствуют ее содержанию.

Замечания к работе.

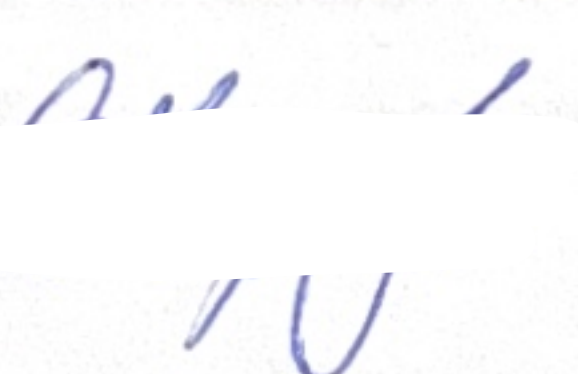
1. В диссертационной работе используются 2 конфигурации WRF-ARW, различные по выбору параметризаций подсеточных процессов и горизонтальному разрешению в наиболее детализированной вложенной подобласти. Однако не изучается чувствительность как методики нахождения наиболее значимых параметров подстилающей поверхности, так и результатов моделирования непосредственно к выбору пространственного разрешения. Подобный анализ представляется важным, в особенности при воспроизведении сильно неоднородной городской поверхности и переходе к субкилометровому разрешению, допускающему воспроизведение дневной конвективной динамики.
2. Одним из исследуемых параметров является «шероховатость» поверхности. Для описания взаимодействия с подстилающей поверхностью в параметризациях приземного слоя моделей атмосферы требуется определение как аэродинамической шероховатости, так и характеристик, интегрально описывающих теплообмен с поверхностью, в частности, термической шероховатости или обобщений числа Стэнтона. Неясно, почему данные параметры исключаются из анализа.
3. В работе не обсуждается корректность сравнения диагностических приземных характеристик (температура на 2 м, скорость ветра на 10 м) внутри городской застройки, не воспроизводимых явно мезомасштабными моделями, а требующих дополнительных предположений для их оценки – модификации схем приземного слоя с учетом распределения турбулентных характеристик внутри полога.
4. Не совсем ясно, использовалась ли классификация ЛКЗ (локально-климатических зон) для задания параметров подстилающей поверхности для второй вложенной модельной области промежуточного разрешения и как они определялись, поскольку классификация предписывает лишь возможный диапазон значений.

Ряд замечаний носит скорее редакционный характер. Так, в работе в некоторых случаях используются недостаточно четкие формулировки и термины, затрудняющие восприятие результатов, например, “высокая нестабильность атмосферы”, “моделирование с помощью ... физических макетов”, “явные и неявные компоненты импульса”.

Общая оценка и заключение. Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации Е.М. Ладохиной. Результаты диссертации соответствуют положениям, выносимым на защиту, и получены при непосредственном участии автора.

Диссертационная работа Ладохиной Е.М. является законченной научно-квалификационной работой и соответствует паспорту специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате. Диссертация Ладохиной Е.М. удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями на 25.01.2024 г.). Ладохина Екатерина Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Официальный оппонент,
кандидат физико-математических наук, специальность 25.00.28 – океанология,
заведующий Лабораторией математического моделирования геофизических пограничных слоев
Научно-исследовательского вычислительного центра МГУ имени М.В. Ломоносова

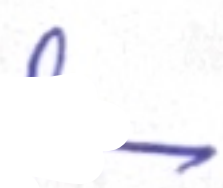

Мортиков Евгений Валерьевич

18 сентября 2026 г.

Подпись Мортикова Е.В. заверяю

Ученый секретарь Научно-исследовательского вычислительного центра МГУ имени М.В. Ломоносова, к.ф.-м.н.




Суворов Владимир Викторович

18 сентября 2026 г.

