

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата географических наук Варенцова Михаила Ивановича на тему: **«Анализ и моделирование мезоклиматических особенностей Московской агломерации» по специальности 25.00.30 – «метеорология, климатология, агрометеорология»**

Московская агломерация входит в число крупнейших мегаполисов планеты. Увеличение городской площади и населения, развитие соответствующей инфраструктуры сопровождается возрастанием антропогенного воздействия на окружающую среду, в том числе – на атмосферу. Аномалии метеорологического режима Москвы были зафиксированы еще в прошлом веке; но и сегодня пока еще отсутствует комплексная оценка антропогенного воздействия на процессы в городской атмосфере. Это обстоятельство определяет важность мониторинга и анализа динамики процессов в городской атмосфере на фоне глобальных климатических изменений. Исследование климатических особенностей Москвой агломерации и тенденций их изменений с применением современного инструмента анализа – мезомасштабного моделирования – *является актуальной научной задачей*, решению которой посвящена диссертационная работа Варенцова М.И.

Рассматриваемая диссертация изложена на 212 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (256 ссылок); содержит 88 рисунков и 8 таблиц. Представленные научные положения и основные выводы апробированы в докладах на конференциях различного уровня, в том числе, международных форумах, и получили всестороннее освещение в научных статьях. По теме диссертации опубликовано 26 работ, в т.ч. 7 статей в журналах, определенных п. 2.3. Положения о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова и рекомендованных ВАК РФ, в 2-х коллективных монографиях. При подготовке работы соискатель принял участие в 8 проектах РФФИ, РНФ, Русского географического общества, проекте AEVUS консорциума COSMO.

Структура диссертации последовательно и многогранно раскрывает заявленную тему исследования.

Во *Введении* обоснована актуальность исследований, посвященных комплексному анализу мезоклиматических особенностей Московской агломерации по данным наблюдений и моделирования, а также оценке чувствительности климата города к некоторым сценариям его развития. Здесь

сформулированы объекты исследования и цели работы, практическая значимость.

В *Главе 1* представлен анализ и систематизация научных публикаций по проблеме городского климата и факторов его формирования. Подчеркнуто особое внимание к исследованиям аномалии термического режима - городскому острову тепла (ОТ). Соискатель подчеркивает, что в формировании ОТ летом ключевую роль играют различия теплофизических свойств и условий испарения между городом и естественными ландшафтами, а зимний ОТ обусловлен преимущественно антропогенным потоком тепла.

Приводятся описания сети метеорологических наблюдений в Московском регионе, использованных баз данных и алгоритмов работы с ними. Соискателем, используя разные архивы метеорологических данных, создана единая база данных метеонаблюдений, для восстановления пропусков в рядах наблюдений использован алгоритм множественной линейной регрессии с данными соседних метеостанций. Названы 9 метеостанций, наблюдения которых использованы как фоновые для анализа аномалии метеорологического режима в Москве. Несмотря на утверждения соискателя, что все они расположены в одном с городскими станциями диапазоне высот, следовало бы указать, что последующие оценки и сравнения базируются на данных станции Балчуг, которая на 40-70 м ниже большинства выбранных станций. К числу замечаний надо присоединить и то, что в число фоновых вошла ст. Коломна, имеющая ярко выраженные микроклиматические и, скорее всего, относящаяся к иному (более тепловому, чем Москва) климатическому поясу, впрочем, как и две станции вне Московской области (Александров и Малоярославец), удаленные на более чем 100 км от центра столицы (об этом свидетельствует рис. 1.2 б). С учетом имеющейся доли некорректности при выборе станций для расчетов ОТ, трудно согласиться и с методом определения интенсивности ОТ (формула 1.1), которая, по существу, есть отклонение усредненной по измерениям на 9 станциях температуры от температуры на какой-либо отдельно взятой городской станции, что странно в постановке задачи исследований явлений мезомасштаба. В тексте отсутствует объяснение, почему для оценки интенсивности ОТ сравнений использована не средняя по городу, а локальная температура?

С моей точки зрения, стилистически некорректны авторские выражения типа «Значения интенсивности ОТ для станций Балчуг, МГУ и ВДНХ» или «Станция ВДНХ характеризуется существенно меньшей скоростью роста интенсивности ОТ» и т.п. При явной привлекательности оценок максимальной тепловой аномалии по данным ст. Балчуг, хорошо известно, что

наблюдения здесь не соответствуют стандартным требованиям, хотя соискатель приводит ряд аргументов в пользу репрезентативности данных наблюдений на этой метеостанции

Выполненные диссертантом исследования изменчивости характеристик ОТ убедительно подтверждают полученные ранее (в т.ч. другими исследователями) зависимости величины ОТ от сезона, синоптических процессов и времени суток с общим выводом: суточный минимум интенсивности ОТ наблюдается днем, максимум - ночью. Надо заметить, что при представлении результатов для Московского региона целесообразно использовать только Московское время и не перегружать иллюстрации и подписи к рисункам временем UTC.

Важный результат исследований М.И. Варенцова состоит в установлении и доказательствах урбанистического вклада в наблюдаемой скорости потепления климата в Московской агломерации, включая ее окраины. Оригинальна идея исследовать зависимость ОТ от фактора погоды (F_w). Хотя новых научных результатов в этой части исследований не получено, автором продемонстрирована убедительная техника комплексного анализа связей. Используемое в тексте выражение «интенсификация ОТ» звучит непривычно. Может быть, русский язык имеет аналоги для выражения мысли об ускорении изменений какого-либо явления?

В разделе 1.4 описываются расчеты и приводятся усредненные за 2007–2016 гг. величины интенсивности ОТ по данным отдельных МС (2°C, 1°C и 0.7°C соответственно по данным станций Балчуг, МГУ и ВДНХ). Если рассчитать среднюю по названным станциям интенсивность ОТ (примерно 1.2 °C), по-видимому, можно было сделать иное, чем у автора заключение - о сравнимости ОТ в Москве с ОТ крупнейших мегаполисов мира? Мой вопрос лишь подчеркивает важность методики исследований и зависимость от нее научных выводов.

Важный научный результат получен соискателем при изучении городской аномалии влажности в мегаполисе. По данным наблюдений на метеостанциях делает выводы о наличии всесезонной городской отрицательной аномалии относительной влажности, о неустойчивости трендов острова сухости на отдельных метеостанциях как следствие преобладающей роли локальных эффектов.

Очевидный недостаток количества метеостанций для понимания особенностей пространственной структуры городских аномалий и для верификации результатов моделирования соискатель восполнил путем

использования данных новых сетей наблюдений (АМС «Центральное УГМС» и АСКЗА «Мосэкомониторинг»), обосновав возможность их применения для научных задач (*Глава 2*). Следует отметить проведенную соискателем глубокую методическую работу по подготовке данных для воспроизведения полей метеовеличин «в условиях высокой мозаичности городских ландшафтов». Им освоен и применен метод построения пространственных корреляционных функций; для интерполяции и проведения изолиний автор использовал метод кригинга. В итоге обоснована возможность интерполяции и проведения изолиний по данным новых сетей мониторинга, и получены новые и оригинальные результаты в виде полей температуры и ее аномалий в разные сезоны и время суток, отражающие пространственную структуру острова тепла. Используя те же методологические подходы, по аналогии с температурой исследована пространственная структура городского острова сухости.

Признавая новизну и оригинальность полученных автором результатов по отображению полей аномалий метеопараметров, можно ли их воспринимать абсолютно? Нет ли в зависимости результатов от числа, а главное, расположения АСКЗА, сильно влияющих на конфигурация полей, что заметно на рис. 2.7-2.9. Не потому ли, что в узком западном и восточном секторах Москвы плотность АСКЗА меньшая, все аномалии не распространялись на эти территории мегаполиса и оказались вытянутыми вдоль большой оси мегаполиса?

Отсутствует физическая интерпретация утверждения, что область максимальных значений ОТ включает в себя территорию внутри ТТК, летом вытянута за его пределы на северо-запад и юго-восток, а зимой – на юг. Можно ли не принимать во внимание, что внутри ТТК находится часть Москва-реки с резкими перепадами высот в береговой зоне, где в теплый сезон на температурный режим оказывает влияние долинная циркуляция.

К числу очевидных научных достижений следует отнести выводы автора, что на фоне мезомасштабного острова тепла проявляется изменчивость меньших пространственных масштабов, обусловленные локальными и микроклиматическими особенностями окрестностей точек измерений.

Итак, в первых двух главах соискатель, вооружившись современным и новаторским инструментами анализа, убедительно обосновав применяемые методы и методологию, представил исследования температурных и влажностных аномалий в Московском мегаполисе по разнородным рядам

нескольких сетей наблюдений. Исследования, представленные в трех последующих главах, проведены с применением современного инструмента исследований – мезомасштабного моделирования.

В *Главе 3* на основании выводов, что пространственный масштаб городских аномалий температуры и влажности соизмерим с размером агломерации, дано обоснование адекватному их воспроизведению мезомасштабной моделью атмосферы с шагом сетки менее 2 км (глава 3). Соискатель сделал выбор на модели COSMO-CLM с шагом сетки 1 км, преимущество которой заключается в наличии большого числа инструментов и баз данных. В разделах 3.3-3.4 описана конфигурация численных экспериментов, представлена параметризация для описания урбанизированной поверхности с использованием оригинальной технологии анализа картографических данных OpenStreetMap. Используя ее показано, что в отличие от данных OpenStreetMap широко используемой базы данных Globcover территория Москвы в пределах МКАД описана как урбанизированная. Приводятся аргументы для неравномерного пространственного распределения потоков антропогенного тепла, его величина для каждой из модельных ячеек определена пропорционально произведению средней высоты зданий на их суммарную площадь. Такие решения имеют высокую ценность для моделирования процессов в городской среде.

Следует подчеркнуть характерное для всей работы предваряющее анализ результатов обсуждение методики исследований, что особенно важно на этапе верификации модели (разд. 3.6 и 3.7). Известно, что сопоставление результатов моделирования с данными наблюдений представляет серьезную методологическую проблему: кроме неточностей модели и ошибок измерений всегда присутствует ошибка соотнесения точечных данных наблюдений и площадных значений результатов моделирования. Соискатель подробно анализирует и предлагает методы оценки качества модельных расчетов. Сравнение с данными наблюдений показало, что модель способна реалистично воспроизводить летний режим для фоновых и городских территорий поля температуры, влажности, скорости ветра и осадков, что модельные ошибки для зимы больше летних как следствие с нерешенными пока в модели COSMO проблемами воспроизведения приземной температуры при наличии снежного покрова.

По результатам верификации отмечается реалистичное воспроизведение ОТ, которое достигнуто путем параметризации физических свойств городской поверхности и антропогенного потока тепла без учета особенностей газового

и аэрозольного состава городской атмосферы, хотя соискатель и не отрицает важную роль последних в формировании ОТ.

В *Главе 4* представлены исследования пространственно-временной динамики структуры городских метеоаномалий с использованием мезомасштабного моделирования, имеющего безусловное преимущество перед точечными высотными наблюдениями даже в Московском регионе, где проводятся наблюдения на Останкинской телебашне, Высотной метеорологической мачте (г. Обнинск), и микроволновыми профилемерами МТР-5. Обнаружение отклика изучаемого явления на заданные изменения в конфигурации модельного эксперимента) проведено с учетом и с отключением урбанистического воздействия (в параметризации TERRA_URB). Надо подчеркнуть, что техника визуализации результатов, позволивших значительно расширить представления о масштабах антропогенного воздействия, заслуживает самой высокой оценки.

Одновременно следует отметить, что результаты моделирования вертикальной структуры ОТ совпадали с физическими представлениями о его сезонной и внутрисуточной динамике. Показано, что днем городская слабовыраженная аномалия температуры (менее 0.5°C) диагностируется до высоты 1–1.5 км. Ночью антропогенное тепло охватывает в среднем нижний 150-метровый слой, а выше в слое 200–500 м моделью воспроизводится кросс-овер эффект.

Возникает закономерный вопрос, вскользь отмеченный соискателем, о критерии установления эффекта городского воздействия на поле температуры и влажности. Так, если этот критерий задать равным 0.5°C и, тем более 1°C , то приведенные автором величины слоев антропогенного воздействия изменятся и не превысят вечером и ночью 250 м, а днем город оказывается теплее фоновой территории на полградуса только в нижнем 200 м. Также можно отметить, что, по-видимому, перестройка на ночной режим моделью воспроизводится раньше природной, модельное поле аномалий (рис. 4.1) в 19 ч в большей степени совпадает с ночным.

Важный хотя и не ключевой раздел 4.1.3, к сожалению, не содержит методики расчета аномалии градиентов температуры, оттого рис. 4.6 трудно воспринимается. Очевидно, для демонстрации эффектов городского влияния на температурную стратификацию достаточно было показать поля самих градиентов температуры.

Модельные оценки влияния города на ветровой режим позволили воспроизвести тонкие городские эффекты, в частности, более выраженный

вечером городской бриз, циклоническую завихренность над городом зимой и летними ночами. Приходится признаться, что натурных данных в пользу таких специфических выводов не найти. При всей оригинальности и новизне результатов модельных расчетов складывается впечатление о завышенном проценте доверия соискателя к результатам моделирования. Но последнее замечание не может повлиять на вывод о том, что приведенные результаты моделирования демонстрируют принципиально новый уровень пространственной и временной детализации, недостижимый для экспериментальных методов исследования.

Глава 5 представляет собой самостоятельный глубоко проработанный исследования и расчеты, естественным образом дополняющие выше описанные научные разработки. В ней рассматривается опыт применения мезомасштабного моделирования для оценки изменений климата Московской агломерации в случае реализации гипотетических сценариев ее развития и приводятся количественные доказательства и графические иллюстрации отклика температурного режима и режима осадков на реализацию четырех сценариев. Сделаны важные заключения о том, что летний режим температуры и осадков наиболее чувствителен к изменению площади урбанизированной территории по сравнению с изменениями морфологических параметров застройки, из чего следует, что интенсивное развитие города Москвы по сравнению с экстенсивным является более благоприятным с точки зрения последствий изменения климата Московской агломерации.

В Заключении диссертации сформулированы основные выводы, отражающие теоретическую и методическую новизну, а также практическую ценность проведенных исследований.

Диссертация представляет законченную научно-исследовательскую работу, обладающую несомненной **научной новизной**. Последняя заключается, в первую очередь, в сочетании комплексного подхода к исследованию влияния города на метеорологический режим с самыми современными методами исследования, включая суперкомпьютерное моделирование, ГИС-технологии и анализ новых, наиболее детальных эмпирических данных.

Научные положения и выводы сформулированы корректно и доказаны материалами диссертации. **Достоверность и обоснованность** полученных результатов и защищаемых положений подтверждается использованием надежных данных наблюдений за продолжительное

временные периоды; оценкой статистической значимости анализируемых трендов и тенденций; использованием одной из лучших мезомасштабных моделей атмосферы COSMO и детальной верификацией результатом моделирования по данным наблюдений. *Личный вклад соискателя* не вызывает сомнений и отчетливо прослеживается во всех разделах диссертации. Автореферат и опубликованные соискателем работы в полной мере отражают содержание диссертации.

В завершение своего Отзыва, отмечу профессиональную эрудицию соискателя, широту и внушительный объем изучавшихся научных проблем, высокий научный уровень, четкий стиль изложения, примененные автором самые передовые методы визуализации результатов, глубокую осмысленность исследований и во многом убедительность анализа.

Возникшие замечания были высказаны о ходе последовательного анализа структурных частей диссертации. Но считаю полезным высказать еще несколько замечаний и пожеланий:

1. При четкости сформулированных соискателем выносимых на защиту четырех положений большая часть из них, на мой взгляд, изложена в стиле отчетности, отражая не научную новизну, а, скорее, процесс ее получения.

2. Представленные результаты моделирования и их визуализация, безусловно, впечатляют, но отсутствие возможность воспроизвести их по натурным наблюдениям не является основанием местами присутствующей в тексте их абсолютизации.

3. В качестве пожелания в ответ на предложение соискателя «... *поставить точку в споре о репрезентативности ст. Балчуг*» (стр. 90) позволю себе отметить, что в изучении научной проблемы лучше ставить не точку, а многоточие....

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности по специальности 25.00.30 – «метеорология, климатология, агрометеорология», а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Варенцов Михаил Иванович заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология.

Официальный оппонент,
доктор географических наук,
заведующая лабораторией
метеорологических условий загрязнения
ФГБУ «Гидрометцентр России»



Кузнецова
Ирина Николаевна

10 мая 2018 г.

Контактные данные:

тел.: 8(903)7562828, e-mail: muza@mecon.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена
диссертация: 25.00.30 – «метеорология, климатология, агрометеорология»

Адрес места работы:

ФГБУ «Гидрометцентр России»

123242, Россия, Москва, Большой Предтеченский переулок, д.11-13,
e-mail: hmc@mecon.ru, тел. 8(499) 252-34-48, факс: 8(499) 255-15-82

Подпись сотрудника ФГБУ «Гидрометцентр России»

И.Н. Кузнецовой удостоверяю:

Ученый секретарь ФГБУ «Гидрометцентр
России», к.ф.-м.н.



Шестакова Н.А.

10 мая 2018 г.