

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**  
**на диссертационную работу АЛЕШИНОЙ Марии Александровны**  
**«Изменение характеристик экстремальных осадков**  
**в регионах России в условиях меняющегося климата»,**  
представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук  
по специальности 1.6.18 — Науки об атмосфере и климате

Диссертационная работа Алешиной М.А. посвящена изучению чрезвычайно актуальной задачи, имеющей как теоретическое, так и практическое значение - выявлению современных и оценке будущих изменений характеристик экстремальных осадков на территории России.

Проблема изменения частоты и интенсивности экстремальных осадков, имеющих наиболее опасные последствия для экономики и населения, приобретает особое значение на фоне наблюдающихся изменений климата. При этом специфика регионального отклика режима осадков на глобальные изменения климата является одной из ключевых в современной гидрометеорологии. На территории России отмечается значительное увеличение темпов роста среднего количества осадков в последние 30 лет. Кроме того, на значительной части территории России увеличивается число дней с экстремальными осадками зимой и весной, а на Дальнем Востоке и на Европейской территории России в летний период. В последних исследованиях отмечается, что увеличение количества осадков происходит за счет конвективных осадков, которые могут иметь более опасные последствия, чем обложные. Однако на фоне общей тенденции роста осадков может наблюдаться увеличение продолжительности периодов без осадков и засух, сменяющихся экстремальными осадками. Эти проблемы требуют детального анализа с акцентом на физические механизмы формирования экстремальных осадков. Перечисленные задачи рассматриваются в представленной работе, что обуславливает ее актуальность.

Новизна выносимых на защиту научных положений подтверждается публикациями автора по теме диссертации в рецензируемых журналах, цитируемых в РИНЦ, SCOPUS и Web of Science. Особый интерес представляет анализ зависимости интенсивности экстремальных осадков от приземной температуры воздуха, показавший наличие существенных региональных и сезонных различий для территории России. Также в работе впервые исследована роль региональных изменений температуры поверхности Черного моря и глобальных изменений температуры поверхности океана в изменениях характеристик осадков в черноморском регионе и предложен новый механизм, объясняющий тенденции изменения осадков в т.ч. экстремальных, на Черноморском побережье Кавказа с учетом глобальных и региональных факторов климатических изменений. Данные региональные исследования имеют большое практическое значение для густонаселенного прибрежного района черноморского побережья.

Полученные результаты могут иметь практическое применение, в частности могут быть использованы для совершенствования долгосрочных климатических прогнозов, и выработки эффективных мер по уменьшению риска негативных последствий опасных погодно-климатических явлений на территории России

Достоверность результатов определяется использованием данных инструментальных наблюдений на метеостанциях, современных реанализов и климатических моделей проекта CMIP6. Результаты получены с применением обоснованных статистических методов и сопровождаются оценками точности. Достоверность результатов также подтверждается физической непротиворечивостью выводов и объективным сопоставлением результатов анализа данных наблюдений, реанализов, численных экспериментов с моделями атмосферы и климата. Текст

диссертации полностью написан автором за исключением случаев, где указаны цитируемые источники.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 204 наименований работ отечественных и зарубежных авторов, 16 приложений, и содержит 156 страниц, включая 53 иллюстрации и 5 таблиц в основном тексте, а также 13 иллюстраций и 3 таблиц в приложениях.

Во **введении** обозначена актуальность темы исследования, поставлены цель и задачи, описаны новизна, практическая и теоретическая значимость работы, приведены основные положения диссертации, выносимые на защиту, личный вклад автора, апробация полученных результатов и публикации соискателя.

В **Главе 1** приведен обзор существующих исследований, посвященных анализу региональных особенностей динамики климата, в особенности его экстремальных показателей. Приведен подробный анализ наблюдающихся изменений климата, в первую очередь температуры воздуха и режима осадков. Особое внимание уделено трендам экстремальных осадков и сложностям их выявления, обусловленными недостаточной длиной рядов, слабой освещенностью данными отдельных регионов и сильной пространственной и временной неоднородностью поля экстремальных осадков. Проанализирована специфика климатических изменений на территории России. Во втором разделе подробно описаны существующие на данный момент представления о физических механизмах, ответственных за формирование экстремальных осадков. Особое внимание уделено соответствию зависимости количества осадков от температуры соотношению Клаузуиса-Клайперона. В третьем разделе приводится описание всех используемых в работе источников метеорологических данных. Особо хотелось бы отметить критический подход к оценке согласованности используемых массивов и существующих ограничений для каждого вида используемых метеорологических данных.

В **Главе 2** рассматривается зависимость интенсивности экстремальных осадков от приземной температуры воздуха в последние десятилетия на территории России с использованием как данных станционных наблюдений, так и реанализа ERA5. К несомненным достоинствам работы можно отнести проведенный детальный анализ изменения данной зависимости по сезонам и по регионам России. Получены очень интересные оценки влияния роста температуры на интенсивность экстремальных осадков с учетом типа осадков (конвективные/обложные). Показано, что линейное увеличение логарифма интенсивности осадков, в том числе экстремальных, при росте температуры, что может следовать из соотношения Клаузиуса-Клапейрона, наблюдается только в зимний период и только в отдельных регионах. Показано, что в летний период в большинстве регионов усиление экстремальных осадков происходит до температуры  $15^{\circ}$ - $20^{\circ}$  С, а дальнейшее повышение температуры сопровождается стабилизацией или уменьшением интенсивности экстремальных осадков. В разделе 2.3 рассмотрена физическая гипотеза, объясняющая наблюдаемое уменьшение осадков летом при температурах выше  $15$ - $20^{\circ}$ С, а именно влияние изменения относительной влажности как индикатора наличия влаги и статической устойчивости атмосферы. Также, на основании результатов предыдущих исследований, предложена физическая интерпретации невыполнения соотношения Клаузиуса-Клайперона в определенные сезоны и в определенных районах.

В **Главе 3** представлен обзор изменений характеристик среднего режима, а также индексов экстремальных температур и осадков по данным наблюдений на метеорологических станциях и климатических моделей CMIP6 на территории России в XX и XXI столетиях. Получены важные оценки наблюдаемых и ожидаемых изменений, среди которых особый интерес представляют выявленные тренды экстремальных температур и осадков. На основании данных метеорологических

станций и реанализа ERA5 показано, что на территории России последние 40 лет происходит практически повсеместное повышение температуры с максимальной скоростью роста зимних температур на станциях Арктического побережья. Анализ будущих изменений показал, что сильные межмодельные различия, особенно в летний сезон, не позволяют сделать однозначных выводов по поводу изменений характеристик осадков на территории России в ближайшие 30 лет, тогда как к концу XXI столетия изменения становятся более выраженными

**Глава 4** посвящена исследованию изменений климата Черного моря и его северо-восточного побережья за последние десятилетия. Показано, что в целом для региона отмечается повышение приземной температуры воздуха с максимумом в теплое время года. При этом значимых изменений осадков, их интенсивности и максимальных значений не наблюдается, несмотря на увеличение летом интегрального влагосодержания и доступной потенциальной конвективной энергии. Анализируются возможные причины стабилизации режима осадков летом на Черноморском побережье Кавказа, которые связаны с усилением дивергенции влаги в регионе. На основании данных численных экспериментов с моделью общей циркуляции атмосферы показано, что региональный рост температуры поверхности Черного моря может приводить к увеличению экстремальности осадков на Черноморском побережье России в летний период. В то же время глобальные изменения температуры поверхности океана способствуют уменьшению осадков, в том числе экстремальных, что в модели связано с интенсификацией региональных процессов подавления конвекции. В качестве достоинств проведенного анализа хочется отметить выполненное сравнение основных сеточных источников данных, используемых в работе, с метеорологическими наблюдениями на станциях для Черноморского побережья Кавказа и введение соответствующих ограничений при анализе поля осадков. В целом, в главе 4 представлена детальная, проработанная, физически обоснованная интерпретация наблюдающихся изменений режима осадков на Черноморском побережье, основанная на данных метеонаблюдений и модельных исследований.

В **Заключении** представлены основные выводы по выполненному исследованию.

В целом, диссертация Алешиной М.А. является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне.

Несмотря на указанные достоинства работы, отмечу некоторые недостатки:

1. Возникает вопрос, почему при анализе связи приземной температуры и экстремальных осадков в качестве рабочей гипотезы берется соответствие этой зависимости соотношению Клаузиуса-Клайперона? Соотношение Клаузиуса-Клайперона показывает зависимость давления насыщения от температуры воздуха. При этом на количество осадков, тем более экстремальных, влияет целый ряд факторов, таких как, наличие источника испарения, атмосферная циркуляция, достаточное развитие облачности по вертикали, обеспечивающее наличие ледяных кристаллов и др. Увеличение температуры совершенно необязательно однозначно влияет на перечисленные факторы, поэтому неудивительно, что в большинстве районов и сезонов данное соотношение не выполняется. Безусловно, что полученные оценки разных видов зависимости осадков от температуры представляют большой научный интерес, но совершенно непонятно, почему соискатель рассчитывал получить соответствие соотношению Клаузиуса-Клайперона.

2. В разделе 2.3 обсуждаются возможные причины уменьшения интенсивности экстремальных осадков по мере увеличения температуры, в частности зависимость от относительной влажности. Указано, что «зимой значения относительной влажности в приповерхностном слое воздуха находились в диапазоне

70-80% при низких температурах (ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ ) и постепенно увеличивались при росте температуры, достигая 90% при температурах около  $0^{\circ}\text{C}$ », а также «летом, несмотря на значительную изменчивость относительной влажности, общей особенностью здесь является снижение значений относительной влажности при температурах выше  $15-20^{\circ}\text{C}$ , которое сопровождается снижением экстремальных осадков» Исходя из формулы относительной влажности  $f=(e/E)*100\%$ , где  $e$  – фактическое парциальное давление водяного пара в воздухе, а  $E$  – давление насыщения, определяемое температурой, очевидно, что рост температуры должен сопровождаться уменьшением относительной влажности, а не наоборот. Отмеченный рост относительной влажности при росте температуры явно обусловлен влиянием других факторов, а не повышением температуры воздуха, это противоречит формуле относительной влажности.

3. Не совсем понятно, в чем заключается новизна результатов, представленных в главе 3. В чем отличие от результатов, представленных в Третьем оценочном докладе об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, а также в отчете IPCC-AR6? Следовало бы более подробно отразить это в тексте диссертации, автореферата и защищаемых положениях. Также интересно было бы увидеть разницу между данными моделей и реанализа для условий современного климата, и в дальнейшем акцентировать внимание на изменениях в будущем климате только для тех районов, где модели адекватно воспроизводят современные условия.

4. В главе 2 95% квантили функции распределения вероятности рассчитываются для каждой станции и каждого сезона, хотя предпочтительнее рассчитывать их для каждого месяца. Однако в главе 3 порог экстремальности температуры и осадков (95% и 5%), видимо, рассчитывался в среднем по территории и для всего периода. При этом очевидно, что пороги экстремальности очень сильно различаются по территории России и по сезонам.

Также есть ряд более мелких замечаний

1. На рисунке 2.2. – не отмечен регион 2.  
2. Стр. 47. Абзац вырван из общего логического контекста. До этого дан вывод, а потом опять начинается анализ.

3. Стр. 49 «...возможном занижении значений температуры в день выпадения осадков за счет синоптических условий (... нисходящих потоков воздуха по перифериям конвективных ячеек)». При нисходящих потоках наблюдается адиабатический нагрев, как это может приводить к занижению температуры?

4. Непонятны подписи к рисункам 3.2, 3.4, 3.11, 3.12, 3.13 и 3.14. Очевидно эксперимент historical охватывает период с 1991 по 2015 гг., а данные эксперимента ssp245 период с 2016 по 2020 гг.? Но это не указано.

5. На стр.108 непонятна интерпретация: адвекция положительной завихренности соответствует уменьшению вертикальной скорости и восходящим движениям. Восходящие движения – это положительная вертикальная скорость.

В целом, указанные замечания не снижают положительного впечатления о работе, они не влияют на главные выводы и практические результаты диссертации, описанные выше.

Результаты диссертационной работы оригинальны, обладают научной новизной и практически значимы, демонстрируют вклад автора в изучение региональных проявлений изменений климата на территории России и, в частности, характеристик экстремальных осадков. Выполненная работа характеризует соискателя как сложившегося исследователя, умеющего самостоятельно ставить и решать научные задачи.

Автореферат отражает основное содержание диссертации, содержит обоснованные выводы и рекомендации, отвечает требованиям ВАК РФ.

Подводя общий итог, необходимо заключить, что новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для российской науки для решения вопросов климатического прогнозирования, а сама диссертация является законченной научно-квалификационной работой, отвечающей паспорту специальности 1.6.18 — Науки об атмосфере и климате, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук,

Работа «**«Изменение характеристик экстремальных осадков в регионах России в условиях меняющегося климата»»** отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, **Алешина Мария Александровна**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.18 — Науки об атмосфере и климате.

Я, **Гущина Дарья Юрьевна**, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

### Официальный оппонент

Гущина Дарья Юрьевна

Доктор географических наук, доцент

Научная специальность 25.00.30 Метеорология,  
климатология, агрометеорология

(1.6.18. – Науки об атмосфере и климате)

Профессор кафедры метеорологии и климатологии  
географического факультета

Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Московский государственный университет им.  
М.В. Ломоносова»



Д.Ю. Гущина

09.11.2023

Адрес места работы:

119991, Россия, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы,

1, Московский государственный университет им.

М.В. Ломоносова, Географический факультет

Моб. тел.: +7(903)121-59-22

E-mail: [dasha155@mail.ru](mailto:dasha155@mail.ru)

Подпись официального оппонента заверяю

Начальник отдела кадров географического  
Факультета МГУ имени М.В.Ломоносова



 Степаненко Л.А.