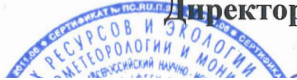


**УТВЕРЖДАЮ:**

**Директор ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»**



*[Handwritten signature]*

**В.М. Шаймарданов**



**31 января 2025 г**

*Печать организации*

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»)** по диссертации Лаврова Александра Сергеевича

**Диссертация «ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА МЕТОДАМИ КВАНТИЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ ПО ДАННЫМ СТАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ»**

Диссертационная работа выполнена в Отделе климатологии ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»

В период подготовки диссертации соискатель Лавров Александр Сергеевич работал в Отделе аэрологии и в Отделе климатологии Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД») в должности младшего научного сотрудника

В 2014 г. А.С. Лавров закончил магистратуру, в 2018 г. аспирантуру Обнинского института атомной энергетики - филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ" по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника по специальности 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации

**Научный руководитель – доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник  
Стерин Александр Маркович**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»), Отдел климатологии, главный научный сотрудник.

**По итогам обсуждения принято следующее заключение:**

### **Актуальность работы**

Оценочные доклады Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), специальные доклады МГЭИК, другие многочисленные результаты и обобщения исследований в области изменений климата подтверждают связь между наблюдаемым ростом средней глобальной температуры, обусловленный преимущественно антропогенным увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере, и ростом интенсивности, частоты, пространственных и временных масштабов близких к экстремальным метеорологическим и климатическим явлениям.

Растущее число метеорологических явлений, близких к экстремальным, и серьезность вызванных ими социально-экономических последствий указывают на важность анализа не только средних значений, но и значительно более широкого перечня характеристик распределений метеовеличин, таких, как моменты второго и более высоких порядков, квантили, статистические характеристики т.н. «хвостов» распределений метеовеличин. В свою очередь, в условиях меняющегося климата нужны оценки долгопериодных тенденций изменений характеристик распределений метеовеличин. Между тем традиционно применяемые в климатологии для оценки климатических трендов статистические методы регрессионного анализа, основанные на классическом Методе Наименьших Квадратов (МНК), оценивают лишь долгопериодные тенденции изменений условного матожидания метеовеличин.

В отличие от МНК регрессии, метод квантильной регрессии (МКР) является непараметрическим методом и позволяет получить характеристики регрессии для квантилей любых уровней  $\tau$  от 0 до 1 распределения зависимой переменной. Кроме того, квантильная регрессия значительно менее чувствительна, чем МНК, к выбросам в данных и к возможным нарушениям предположений о характере распределений метеовеличин.

Оценки трендов для разных уровней квантилей  $\tau$ , получаемые с помощью МКР, позволяют оценить долгопериодные тенденции изменения изменчивости в любой части распределения метеовеличин. Проведение исследований тенденций изменения климатических трендов для приземных температуры и осадков в разных частях диапазона квантилей от 0 до 1 особенно важно для РФ, с учетом большой территории, многообразия климатических процессов, ростом интенсивности и частоты явлений, близких к экстремальным, большей, по сравнению со средней, скоростью потепления, особенно в северных регионах, где проявляется полярное усиление, приводящее к изменению характеристик субсезонной изменчивости метеовеличин.

Важными являются также мониторинг и оценки долгопериодных тенденций изменения климата свободной атмосферы. Свободная атмосфера (тропосфера, нижняя стратосфера) является одной из важнейших составных частей климатической системы. К числу определенных ГСНК т.н. Существенных Климатических Переменных (ECV), описывающих состояние климатической системы свободной атмосферы, относятся, в том числе, температура и скорость и направление ветра.

В условиях ограничений информационного обмена существующие в Российской Федерации схемы анализа текущего состояния и изменений климата должны опираться на информационные ресурсы, формируемые, прежде всего, за счет собственных технологий сбора и подготовки информационных продуктов мониторинга климата. В полной мере это относится к мониторингу климата свободной атмосферы.

#### **Личное участие соискателя в получении результатов**

Все результаты, составляющие основное содержание диссертационной работы, получены автором лично или при его непосредственном участии в соавторстве с научным руководителем работы доктором физико-математических наук Стериным Александром Марковичем и кандидатом физико-математических наук Хохловой Анной Владимировной.

Автором выполнено детальное исследование климатических трендов метеопараметров с помощью метода квантильной регрессии, который позволяет оценить тенденции изменения метеовеличин (в частности, температуры, сумм осадков) во всем диапазоне квантилей значений метеовеличин от 0 до 1, в том числе значений, близких к экстремальным, выполнена кластеризация рассчитанных детализированных по диапазону значений квантилей климатических трендов приземной температуры и совместно рассчитанных климатических трендов приземной температуры и суточных сумм осадков, подбор гиперпараметров кластеризации.

Автор принимал активное участие в разработке методики мониторинга ветра в свободной атмосфере. Анализ особенностей температуры и ветра в свободной атмосфере, в том числе, подготовка данных, табличного и графического материала, расчеты, написание соответствующих разделов ежегодного Доклада Росгидромета об особенностях климата на территории Российской

Федерации выполняются автором лично в рамках работ по мониторингу температуры и скорости ветра в свободной атмосфере.

Автором выполнены сопоставление и анализ климатических характеристик, полученных из разных источников, в том числе, по реанализам нескольких климатических центров. Обработка и анализ значительных объемов данных представляет собой отдельную задачу, с которой автор успешно справился.

### **Степень достоверности результатов, проведенных исследований**

Обоснованность научных положений и выводов, приведенных в диссертационной работе, обусловлена обработкой и обобщением большого объема высококачественных аэрологических данных и приземных метеорологических данных Единого государственного фонда данных, и корректным использованием современных статистических методов анализа данных. Достоверность получаемых рядов результатов пространственного и временного обобщения температуры в свободной атмосфере и соответствующих результатов ее мониторинга подтверждена на основе их сопоставления с аналогичными рядами, получаемыми на основе спутниковых наблюдений, на основе массивов реанализов, а также сопоставления с рядами, получаемыми в других центрах на основе других методик обобщения радиозондовых данных.

### **Научная новизна**

Впервые методами квантильной регрессии осуществлены расчеты для трендов приземной температуры и суточных сумм осадков в различных частях диапазона квантилей для более чем 1400 метеостанций на территории России. По итогам расчетов климатических трендов методом квантильной регрессии, с использованием многомерного кластерного анализа показана возможность выделения географически компактных областей на территории Российской Федерации, для которых сходным образом проявляются детализированные по диапазону уровней квантилей от 0,01 до 0,99 оценки трендов приземной температуры и совместно анализируемых трендов приземной температуры и суточных сумм осадков;

С применением метода квантильной регрессии к анализу стационарных временных рядов приземной температуры подтверждено положение об адвективной природе ослабления внутрисезонной климатической изменчивости вследствие полярного усиления, выдвинутое в работе J. Screen 2014 года [Screen, 2014] и других публикациях. Впервые проанализированы географические и сезонные особенности ослабления внутрисезонной климатической изменчивости приземной температуры для территории Российской Федерации.

Впервые методами квантильной регрессии исследованы особенности трендов температуры в тропосфере и нижней стратосфере Северного полушария в разных частях диапазона уровней квантилей от 0,05 до 0,95;

### **Практическая значимость**

Полученные результаты детализированного анализа трендов приземной температуры и осадков методом квантильной регрессии, дающие развернутую картину тенденций изменения характеристик variability климата в разных регионах на территории Российской Федерации, могут быть использованы:

- для уточнения климатического районирования территории РФ с учетом характера проявления и скорости изменения важнейших для приземного климата переменных.
- для учета многолетних тенденций изменения зависящих от квантилей климатических индексов, используемых в выработке решений по адаптации к изменениям климата и в прикладной климатологии (социальное планирование, здравоохранение, строительство, производство, транспорт, жилищно-коммунальное хозяйство, и др.).

Результаты мониторинга и анализа режимов температуры и ветра в свободной атмосфере используются:

- для подготовки соответствующих разделов в ежегодном «Докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации», издаваемом Росгидрометом.
- для учета параметров климата свободной атмосферы в задачах конструирования и эксплуатации летательных аппаратов, в задачах проектирования объектов энергетики.

### **Ценность научных работ соискателя**

Ценность научных работ соискателя заключается в использовании данных станционных наблюдений за важными для приземного климата и климата свободной атмосферы климатическими переменными, входящими в списки ГСНК для Существенных Климатических Переменных. Это представляет интерес для климатического мониторинга метеопараметров в свободной атмосфере, которому уделяется значительно меньшее внимание, чем приземному климату. Детальное исследование изменчивости метеорологических переменных, выполненное на основе данных больших объемов с применением современных методов анализа временных рядов, позволяет оценивать не только средние тенденции изменчивости, но и поведение близких к экстремальным значениям, что, безусловно, является важным направлением развития статистической климатологии.

Проведенное соискателем сопоставление рядов температуры в свободной атмосфере, на основе собираемых и обрабатываемых в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» данных радиозондирования, с другими независимыми источниками радиозондовых, спутниковых данных и данных массивов реанализов. демонстрирует хорошее соответствие результатов, полученных на основе данных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и других источников и подтверждает правомерность их использования в Росгидромете для целей мониторинга климата свободной атмосферы.

### **Специальность, которой соответствует диссертация**

Содержание работы соответствует специальности 1.6.18 – науки об атмосфере и климате.

Область исследования диссертации соответствует пунктам разделов Паспорта специальности 1.6.18:

1. Методы наблюдений, измерений и обработки данных об атмосфере и климатической системе.

2. Вычислительные методы и технологии систем анализа и усвоения данных наблюдений. Геоинформационные системы в метеорологии, климатологии и агрометеорологии.

17. Региональная климатология. Мезо- и микроклиматология. Изменения климата. Климатические проекции. Исследование формирования климатообусловленных угроз и рисков для природных и хозяйственных систем, здоровья населения. Адаптация к изменениям климата. Методы и технологии использования климатической информации для управления безопасностью и обеспечения устойчивого развития экономики и социальной сферы в условиях меняющегося климата.

### **Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем**

#### **Работы, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях из перечня**

#### **ВАК:**

1. Лавров А.С., Стерин А.М. Детализация климатических трендов температуры и осадков на территории России с использованием квантильной регрессии и кластеризации. // Фундаментальная и прикладная климатология, 2024, Т.10, №2, с. 219-243. ISSN 2410-8758
2. Стерин А.М., Лавров А.С. Использование квантильной регрессии для оценки пространственных особенностей характеристик трендов приземной температуры на территории России. // Фундаментальная и прикладная климатология, 2022, Т.8, №2, с.238-257.
3. Стерин А.М., Лавров А.С. Тренды температуры в свободной атмосфере: расчеты с использованием метода квантильной регрессии. // Фундаментальная и прикладная климатология, 2021, Т.2, с. 99-114.
4. Лавров А.С., Хохлова А.В. Климатический мониторинг ветра в свободной атмосфере Северного полушария: многолетние характеристики и тенденции изменчивости. // Фундаментальная и прикладная климатология, 2020, Т.2, с. 58-75.

5. **Лавров А.С.,** Стерин А.М. Результаты сопоставления рядов температуры свободной атмосферы по данным радиозондовых наблюдений и спутниковых наблюдений. // Метеорология и гидрология, 2017, №2, с. 30-44
6. Стерин А.М., **Лавров А.С.** Оценки аномалий температуры в тропосфере в 2015-2016 годах. // Фундаментальная и прикладная климатология, 2017, Т.2, с.111-129
7. **Лавров А.С.,** Хохлова А.В., Стерин А.М. Мониторинг климатических параметров температуры и ветра в свободной атмосфере: технологические аспекты. Труды Гидрометцентра России. 2017, вып. 366, с. 97-111

**Содержание диссертации также отражено в следующих публикациях:**

1. Sterin A.M. and **Lavrov A.S.** Detailed climate trends assessment and their spatial patterns as a big data problem in climatology. // Международная конференция к 70-летию Геофизического центра РАН и 300-летию РАН «Наука о данных, геоинформатика и системный анализ в изучении Земли». Суздаль, 2024.
2. **Лавров А.С.** Мониторинг метеорологических характеристик в свободной атмосфере. Температурный и ветровой режимы. // Материалы конференции «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: приземный климат, загрязняющие и климатически активные вещества». 15-17 ноября 2023. с. 146-150
3. **Лавров А.С.,** Стерин А.М. Детализация климатических трендов температуры и осадков на территории РФ с использованием квантильной регрессии и кластеризации. // Материалы конференции «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: приземный климат, загрязняющие и климатически активные вещества». 15-17 ноября 2023. с. 37-41
4. **Лавров А.С.,** Стерин А.М. Исследование климатических трендов приземной температуры и осадков на территории Российской Федерации методом квантильной регрессии. // Тезисы докладов конференции «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. КЛИМАТ-2023». 09-13 октября 2023.
5. **Лавров А.С.,** Стерин А.М. Сравнение результатов кластеризации квантильных трендов приземной температуры на территории Российской Федерации с квази-однородными климатическими регионами России. // Сборник тезисов конференции «Вычислительно-информационные технологии об окружающей среде. CITES 2023». 13-23 июня 2023, с. 78-79
6. Стерин А.М., **Лавров А.С.** Климатические тренды приземной температуры на территории Российской Федерации, оцененные с использованием квантильной регрессии. // Сборник тезисов конференции «Вычислительно-информационные технологии об окружающей среде. CITES 2023». 13-23 июня 2023, с. 75
7. Стерин А.М., **Лавров А.С.** О детализации климатических трендов температуры в атмосфере Северного полушария. // Сборник тезисов научно-технической конференции «Моделирование параметров атмосферы при применении систем вооружения», г. Королев, 2022.
8. Стерин А.М., **Лавров А.С.** Детализация климатических трендов, оцененных методом квантильной регрессии с использованием данных наблюдений. // Сборник трудов «Международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды. ENVIROMIS-2022», Томск, 2022, с. 389-390
9. **Лавров А.С.,** Стерин А.М. Об учете годового хода температуры воздуха при анализе ее климатических трендов методом квантильной регрессии. // Сборник трудов «Международная молодежная школа и конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде. CITES-2021» Томск, 2021, с. 125-128.
10. **Лавров А.С.,** Стерин А.М., Хохлова А.В. Методика мониторинга скорости ветра в свободной атмосфере. // Информационный сборник № 47. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. Росгидромет, 2020, с. 33-40.
11. Sterin A.M., **Lavrov A.S.** On the long period trend estimates for the upper-air extreme and sub-extreme temperatures by use of quantile regression. «Weather and Climatic Extremes: Data, Analysis and Impact» WCEDAI-2020. September 8-10 2020. Tomsk, Russia, p. 376
12. Sterin A.M., **Lavrov A.S.** On the long period trend estimates for the upper-air extreme and sub-extreme temperatures by use of quantile regression. WCEDAI-2020. IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences. 2020, Vol. 611, p. 012043

13. Стерин А.М., Лавров А.С. О возможном вкладе аномально теплых лет второго десятилетия XXI века в уточнение нормативной базы для моделирования климата атмосферы северного полушария. Материалы конференции «Моделирование параметров атмосферы при применении систем вооружения», 9-10 июля 2020.
14. Lavrov A.S., Sterin A.M., Khohlova A.V. Diagnostics of the upper-air temperature and wind climate changes based on radiosonde observations and on the fifth-generation reanalysis. CLIMATE-2019. IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences. 2019, EES 606, EES6061029.
15. Лавров А.С., Стерин А.М., Хохлова А.В. Диагностика изменений температуры и ветра в свободной атмосфере на основе данных радиозондирования и реанализов пятого поколения. / Всероссийская конференция «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования», Москва, 26-28 ноября 2019
16. Lavrov A.S., Sterin A.M., Khohlova A.V. Upper-air climate monitoring: data sources, technological aspects, and some results. Enviromis-2018. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 211, 012001
17. Лавров А.С., Стерин А.М., Хохлова А.В. Мониторинг климатических изменений в свободной атмосфере: источники данных, технологические аспекты, некоторые результаты. Сборник трудов «Международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2018», Томск, 2018, с. 4-5
18. Лавров А.С., Хохлова А.В., Стерин А.М. Особенности режима ветра в свободной атмосфере над территорией Российской Федерации в 2015 году. Труды ВНИИГМИ-МЦД, 180. с. 47-58

Опубликованные автором работы в полной мере отражают содержание диссертации

#### Общее заключение

Диссертация Лаврова Александра Сергеевича «ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА МЕТОДАМИ КВАНТИЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ ПО ДАННЫМ СТАНЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему.

Диссертация Лаврова Александра Сергеевича «ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА МЕТОДАМИ КВАНТИЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ ПО ДАННЫМ СТАНЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ» рекомендуется к представлению в диссертационный совет для рассмотрения возможности приема к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – науки об атмосфере и климате.

Заключение принято на заседании Ученого совета ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» 31 января 2025 г

Присутствовали 15 членов Ученого совета, в том числе 4 доктора наук, 4 кандидата наук, голосование ЗА 15, ПРОТИВ -нет, ВОЗДЕРЖАЛИСЬ нет. Протокол №1/2025. от 31 января 2025 г.

Сивачок Сергей Григорьевич, кандидат  
физ.- мат. наук, Ученый секретарь ФГБУ

( «ВНИИГМИ-МЦД» )

(фамилия, имя, отчество – при наличии, ученая  
степень, ученое звание, наименование  
структурного подразделения, должность)

(подпись лица, оформившего  
заключение)