

УТВЕРЖДАЮ

Директор федерального государственного
бюджетного учреждения «Главная
геофизическая обсерватория
им. А.И. Воейкова»



В.М. Катцов

«03» февраля 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»

Диссертационная работа Зайнетдинова Булата Гаяновича «Теоретические и экспериментальные исследования элементов глобальной электрической цепи в атмосфере на высокоширотных станциях с учетом влияния аэрозольных частиц» в отделе геофизического мониторинга и исследований федерального государственного бюджетного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» (далее – ФГБУ «ГГО»).

В 2012 году Зайнетдинов Б.Г. получил степень магистра по направлению «Экология и природопользование» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет».

В 2011 году Зайнетдинов Б.Г. поступил на работу в отдел физики облаков и атмосферного электричества (в последующем отдел геофизического мониторинга и исследований) на должность ведущего инженера ФГБУ «ГГО». В настоящее время является старшим научным сотрудником, в должности заведующего лабораторией атмосферного электричества.

В 2024 году прикрепился для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров к аспирантуре ФГБУ «ГГО».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 3797/АС-109 выдана 14.10.2024 ФГБУ «ГГО».

Научный руководитель – Морозов Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ФГБУ «ГГО».

По итогам выполненной соискателем работы принято следующее **заключение**:

Оценка выполненной соискателем работы.

Диссертационная работа Зайнетдинова Б.Г. является законченным научным исследованием выполненным автором самостоятельно под научным руководством доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника ФГБУ «ГГО» Морозова Владимира Николаевича и полностью отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Актуальность исследования глобальной электрической цепи играет важную роль в изучении физики атмосферы. Поскольку полярные области являются наименее подверженными антропогенной нагрузке, информацию, получаемую с данных регионов, можно считать фоновыми и использовать при оценке изменений в глобальном масштабе.

Помимо этого, стоит учесть необходимость комплексного исследования аэрозольной составляющей атмосферы, как фактора, влияющего на различные аспекты жизнедеятельности человека, а также климатическую систему Земли.

Целью диссертационной работы является исследование пространственно-временных вариаций электрических характеристик атмосферы (ЭХА) в высокоширотных регионах, а также изучение влияния концентрации аэрозольных частиц субмикронного диапазона в приземном слое на ЭХА.

Для достижения поставленных целей был выполнен ряд инженерных, научных и методических **задач**:

- Разработка теоретической модели, описывающей влияние слоев аэрозольных частиц в атмосфере на значения напряженности электрического поля в приземном слое. Численное решение данной модели для различных значений коэффициента поглощения ионов.

- Создание автоматизированной системы непрерывного наблюдения за ЭХА, такими как напряженность электрического поля приземного слоя атмосферы и электрическая проводимость воздуха, обусловленная положительными и отрицательными аэроионами. Создание сети станций наблюдения за ЭХА в высокоширотной зоне РФ. Внедрение руководящего документа, регламентирующего работу с системой наблюдения;

- Сбор, систематизация и анализ длительных, непрерывных рядов данных об ЭХА, а также сопутствующей метеорологической информации и данных о концентрации атмосферных аэрозолей. Формулирование критериев выборки характерных для отсутствия метеорологических явлений, приводящих к возмущениям напряженности электрического поля;

Выделение полных суток, соответствующих условиям «хорошей погоды» для оценки влияния аэрозольных частиц субмикронного диапазона на унитарную вариацию напряженности поля, а также его вклада в поведение электрической проводимости воздуха.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации.

Автору принадлежит определению цели, постановке и решению задач, выборе объекта и предмета исследования. В соавторстве Разработана теоретическая модель влияния слоев аэрозольных частиц на напряженность электрического поля. Автор принимал непосредственное участие в разработке комплекса измерительной аппаратуры для наблюдения за электрическими характеристиками атмосферы (далее – ЭХА), тестировании, установке, пусконаладочные работы на всей сети станций (кроме «ЛБ мыс Баранова»). Разработаны критерии фильтрации данных о напряженности электрического поля являются авторской разработкой.

Научные результаты диссертационного исследования, полученные лично соискателем, заключаются в следующем:

1. Проведен расчет зависимости коэффициента поглощения ионов от концентрации аэрозольных частиц, а также численная оценка зависимость напряженности электрического поля от высоты верхней границы аэрозольного слоя для различных значений данного коэффициента проводились соискателем.

2. Соискатель принимал непосредственное участие в разработке комплекса измерительной аппаратуры для наблюдения за ЭХА.

3. Поведено тестирование, установка, пусконаладочные работы на всей сети станций.

4. Разработаны критерии фильтрации данных о напряженности электрического поля является

По итогам диссертационного исследования были достигнуты следующие **результаты**:

1. Разработана теоретическая модель влияния аэрозольных частиц в областях хорошей погоды на ГЭЦ, получено ее аналитическое решение. Столб атмосферы рассматривается в виде двух областей I область представляет из себя слой, занятый атмосферным аэрозолем, II область – слой свободный от аэрозольных частиц. При этом генераторы электрического поля, поддерживающие ГЭЦ, не учитываются, а входят через граничное условие на верхней границе ионосферы в виде задания величины потенциала ионосферы.

2. Рассчитаны значения коэффициента поглощения ионов для различных концентраций аэрозольных частиц. Показано как влияют аэрозольные частицы в приземном слое атмосферы на радиальную составляющую напряженности электрического поля. Результаты теоретического рассмотрения и численных оценок показывают, что присутствие аэрозольных частиц в атмосфере приводит при их достаточной концентрации к увеличению как столбцового, так и глобального электрического сопротивления, а также потенциала ионосферы.

3. Разработано автоматизированное оборудование для измерения ЭХА таких, как напряженность электрического поля приземного слоя атмосферы и полярной электрической проводимости воздуха, обусловленной положительными и отрицательными аэроионами. Проведены испытания с целью утверждения типа средств измерений, получены методики поверки и, как следствие, оборудование внесено в государственный реестр средств измерений.

4. Произведена автоматизация и расширение сети наблюдений за ЭХА на территории РФ. Впервые в мировой практике создана постоянно действующая под общим методическим руководством и с применением одинакового измерительного оборудования сеть наблюдений в арктическом регионе.

5. В результате анализа многолетнего массива данных наблюдений за 50-летний период показано, что выявление кривой Карнеги на станциях городского и континентального типа достаточно затруднительно. В свою очередь, для станций полярных регионов, чтобы получить данную кривую, достаточно лишь исключить периоды опасных метеорологических явлений.

6. Получены статистически значимые критерии для значений E_{cp} и ΔE в условиях отсутствия метеоявлений. Данные критерии показали возможность их применения в оперативной практике для автоматизации обработки поступающей информации об атмосферно-электрических характеристиках, а также ее контроля для каждой отдельно взятой станции.

7. В ходе многолетних параллельных наблюдений за ЭХА и счетной концентрацией аэрозольных частиц субмикронного диапазона в приземном слое была выявлена обратная сезонная зависимость между $\sum \lambda$ и N , подтверждающая теоретические модели.

8. Было показано, что для выявления классического хода унитарной вариации для некоторых дней, удовлетворяющих условиям «хорошей погоды», которые общепризнаны в науках об атмосферном электричестве, достаточно данных наблюдений стандартных метеопараметров. Но для большинства дней подобная метеоинформация хоть и является основным индикатором, но наличие аэрозольных частиц, концентрация которых превышает некоторое фоновое значение или имеет резкие выбросы во временном ходе, вносит сильные возмущения в соответствующий ход E . Как следствие, исследование электричества «хорошей погоды» не является в полной мере объективным без привлечения информации об аэрозольном загрязнении.

9. На примере интенсивных пожаров в Иркутской области и периоде ослабления хозяйственной деятельности в рамках проведения мер по предотвращению распространения коронавирусной инфекции COVID-19 было показано, как влияет наличие или отсутствие аэрозоля на результаты фонового мониторинга ЭХА.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы подтверждается:

- строгой постановкой задач, актуальностью и применяемыми методами;
 - многолетним объемом анализируемой информации;
 - наблюдениями, проводимыми согласно утвержденным методикам, как за элементами ЭХА, так и за метеорологическими параметрами;
- отсутствием противоречия физико-математическим моделям, а также общепринятым представлениям в данной области знаний.

Научная новизна состоит в том, что впервые анализируются результаты наблюдений за ЭХА в приземном слое, полученные с высокоширотной сети станций. При этом данные, получаемые на данной сети, являются многолетними и непрерывными. Стоит учесть, что наблюдения осуществляются при помощи одинаковой аппаратуры, внесенной в государственный реестр средств измерений, а также проводятся по единой методике, утвержденной Росгидрометом. В ходе работы также получены нижеследующие научные и практические результаты:

1. Доработана модель влияния слоев аэрозольных частиц в воздухе на элементы глобальной электрической цепи в атмосфере. Получены теоретические оценки данного влияния в зависимости от высоты слоя частиц при различных значениях коэффициента поглощения ионов.

2. Впервые введена в эксплуатацию непрерывно работающая, автоматизированная сеть станций в высокоширотном регионе Северного полушария Земли.

3. Разработан способ фильтрации данных наблюдений для получения значений напряженности электрического поля близких по значению к значениям, получаемым в условиях отсутствия метеорологических явлений.

4. Получены результаты анализа многолетних наблюдений, которые не противоречат устоявшимся представлениям об унитарной вариации, и хорошо согласуются с теоретическими оценками элементов глобальной электрической цепи.

Получены экспериментальные доказательства влияния атмосферного аэрозоля субмикронного диапазона на ЭХА. Показано, что общепринятые критерии «хорошей погоды», получаемые при наблюдениях на метеостанциях, не являются исчерпывающими при попытке получить классический ход кривой Карнеги.

Теоретическая и практическая значимость.

1. Работа может служить методологической базой при изучении эффектов проявления ГЭЦ в приземном слое.

2. Результаты работы могут быть использованы при анализе данных об ЭХА при определении фоновых значений.

3. Полученные результаты могут использоваться при оценке возможных изменений, вызванных антропогенными или естественными факторами, как в локальном, так и в глобальном масштабе.

Научная специальность, которой соответствует диссертация.

Содержание диссертации Зайнетдинова Б.Г. «Теоретические и экспериментальные исследования элементов глобальной электрической цепи в атмосфере на высокоширотных станциях с учетом влияния аэрозольных частиц» соответствует паспорту специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате, область исследования диссертанта отражает основные структурные компоненты научной специальности:

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

п. 4. Приземный и пограничный слой. Строение и физика нижней атмосферы (тропосферы) Земли. Строение и физика ионосферы.

п. 7. Электрические явления в атмосфере. Глобальная электрическая цепь. Ионизация. Проводимость. Ток. Градиент потенциала. Технологии мониторинга электрических процессов в атмосфере.

Сведения об опубликованных работах.

Основное содержание диссертационной работы отражено в 25 научных работах, из них 11 – статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук. Помимо этого, ежегодно в соавторстве публикуются разделы обзоры Росгидромета о фоновом состоянии окружающей среды, входящих в РИНЦ (всего 15 публикаций). Также по теме диссертации был опубликован раздел в монографии «Исследование природной среды высокоширотной Арктики на НИС «Ледовая база Мыс Баранова». Основные результаты диссертационной работы отражены в следующих публикациях Зайнетдинова Булата Гаяновича:

Статьи в журналах, включенных в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, утвержденных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

1. Зайнетдинов Б.Г. Результаты наблюдений за электрическими характеристиками приземного слоя атмосферы в полярном регионе. // Труды ГГО. 2018. Вып. 588. С. 47-61.
2. Зайнетдинов Б.Г., Соколенко Л.Г. Результаты модернизации и расширения сети наблюдений за атмосферным электричеством. // Труды ГГО. 2018. Вып. 589. С. 153-166.
3. Морозов В.Н., Зайнетдинов Б.Г., Соколенко Л.Г. Глобальная электрическая цепь в атмосфере: теоретические модели и экспериментальные данные, подтверждающие их. // Труды ГГО. 2018. Вып. 589. С. 98-113.
4. Морозов В.Н., Зайнетдинов Б.Г., Соколенко Л.Г., Палей А.А., Писанко Ю.В. Экспериментальные и теоретические исследования влияния аэрозольных частиц субмикронного аэрозоля на электричество приземного слоя. // Труды ГГО. 2018. Вып. 590. С. 27-47.
5. Зайнетдинов Б.Г., Клово А.Г., Кудринская Т.В., Куповых Г.В., Тимошенко Д.В. Формирование суточных вариаций атмосферного электрического поля вблизи поверхности земли в различных метеорологических условиях. // Труды ВКА имени А.Ф. Можайского. 2020. № S674. С. 176-180.
6. Зайнетдинов Б.Г., Соколенко Л.Г., Занюков В.В. Изменение электрических характеристик атмосферы в разных географических регионах в период ослабления хозяйственной деятельности весной 2020 г. // Метеорология и гидрология. 2022. Вып. 3. С. 47-54.
7. Zainetdinov B.G., Zaniukov V.V., Sokolenko L.G. Changes in Atmospheric Electricity Characteristics in Different Geographic Regions during the Economic Activity Decline in the Spring of 2020 // Russ. Meteorol. Hydrol. 2022. Vol. 47, № 3. P. 191–196. DOI: 10.3103/S1068373922030049.
8. Зайнетдинов Б. Г. Критерии выборки данных об атмосферном электричестве для полярных регионов в целях автоматизации их обработки и контроля. // Труды ГГО. 2023. № 610. С. 113–125.
9. Зайнетдинов Б. Г., Морозов В. Н., Занюков В. В. Влияние аэрозольных частиц в приземном слое воздуха на элементы глобальной электрической цепи в атмосфере. // Оптика атмосферы и океана. 2024. Т. 37. № 05. С. 409–414. DOI: 10.15372/AOO20240508.
10. Zainetdinov B. G., Morozov V. N., Zaniukov V. V. The Influence of Aerosol on Elements of Global Atmospheric Electrical Circuit // Atmospheric and Oceanic Optics. 2024. Vol. 31, № 4. P. 508–513. DOI: 10.1134/S1024856024700684.
11. Занюков В. В., Зайнетдинов Б. Г., Соколенко Л. Г. Многолетние тенденции и современные изменения параметров атмосферного электричества. // Труды ГГО. 2024. № 612. С. 136–154.

Статьи в сборниках научных трудов и материалах конференций

12. Зайнетдинов Б.Г., Попов И.Б., Соколенко Л.Г. О результатах модернизации атмосферно-электрической сети станций Росгидромета. II Всероссийская конференция «Глобальная электрическая цепь», Борок, 5-9 октября 2015, стр. 108-109.
13. Зайнетдинов Б.Г. Анализ данных наблюдений за напряженностью электрического поля приземного слоя атмосферы на прибрежных станциях Северного Ледовитого океана. V Всероссийская научная конференция «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды»: Материалы конференции. Часть 1, СПб: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2018, стр. 139-143.
14. Зайнетдинов Б. Г. Сетевые наблюдения за электрическими характеристиками атмосферы, как элемент комплексного мониторинга аэрозольного и радиоактивного загрязнений // Сборник материалов Молодежных научных чтений: в 2 частях Южный федеральный университет. Таганрог: ЮФУ, 2018. С. 191–195.
15. Кудринская Т. В., Куповых Г. В., Аджиев А. Х., Зайнетдинов Б. Г., Соколенко Л. Г. Эффекты солнечной активности в вариациях электрического поля приземной атмосферы. Труды XXVI всероссийской открытой научной конференции «Распространение радиоволн». Том 2, Казань, 1–6 июля 2019 г., стр. 557-561.
16. Зайнетдинов Б. Г., Соколенко Л. Г. Итоги усовершенствования сети Росгидромета по наблюдениям за электрическими характеристиками атмосферы // Сборник трудов конференции. Нальчик: ВКА им. Можайского, 2019. С. 7–9.
17. Кудринская Т. В., Куповых Г. В., Аджиев А. Х., Зайнетдинов Б. Г. Исследование проявлений солнечно-земных связей в динамике приземного атмосферно-электрического поля. Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений. Сборник тезисов докладов XI международной конференции «Солнечно-Земные связи и физика предвестников землетрясений», Паратунка, 22-25 сентября 2020 г., С. 13-14.
18. Зайнетдинов Б. Г., Михайловский Ю. П., Соколенко Л. Г., Стерхов П. Л. Наземные и самолётные исследования электрических характеристик атмосферы в Советской и Российской Арктике. Прошлое, настоящее, будущее // Материалы Восьмой Международной научно-практической конференции «Полярные чтения». СПб: Изд. «Паулсен», 2020. С. 118–125.
19. Зайнетдинов Б. Г. Суточные и сезонные вариации параметров атмосферного электричества в различных регионах РФ // тезисы докладов XXIII Всероссийской школы-конференции молодых ученых. Борок: ООО «Филигрань», 2020. С. 21–22.
20. Кашлева Л.В., Мацуцина Ю. С., Михайловский Ю. П., Зайнетдинов Б. Г. Моделирование электрических характеристик невозмущенной атмосферы. Материалы конференции: Динамика и взаимодействие геосфер земли. Том 1. Томск, 2021. С. 143-145.
21. Зайнетдинов Б. Г., Занюков В. В., Соколенко Л.Г. Результаты совместных многолетних наблюдений за концентрацией аэрозоля субмикронного диапазона и электрическими характеристиками атмосферы в п. Тикси. Материалы XV Международной Школы молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Томск, 2022. С.18-22.
22. Занюков В. В., Зайнетдинов Б. Г., Соколенко Л. Г. Особенности изменения электрических характеристик приземного слоя атмосферы как интегрального показателя аэрозольного загрязнения в период проведения карантинных мер по предупреждению распространению COVID-19. Труды конференции «Проблемы физики атмосферы, климатологии и мониторинга окружающей среды», Ставрополь, 2022. С. 51-54.
23. Зайнетдинов Б. Г., Занюков В. В., Соколенко Л.Г. Влияние аэрозольных частиц на унитарную вариацию напряженности электрического поля по результатам наблюдений в п. Тикси. Материалы VII всероссийской научной конференции "Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды", Санкт-Петербург, 2022. С. 225-228.
24. Морозов В.Н., Зайнетдинов Б.Г., Занюков В.В. Влияние аэрозольных частиц на глобальную электрическую цепь. Сборник научных работ XI Всероссийской научной

конференции «Системный синтез и прикладная синергетика». Нижний Архыз, 2022. С. 304-309.

25. Зайнетдинов Б.Г., Занюков В.В., Соколенко Л.Г. Результаты фонового мониторинга электрического состояния приземного слоя атмосферы над территорией российской федерации с использованием новых автоматизированных средств измерений. Материалы IX Всероссийской научной конференции по атмосферному электричеству / под общ. ред. Ю. В. Кулешова. СПб.: Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, 2023. С. 101-109.

Диссертация Зайнетдинова Булата Гаяновича «Теоретические и экспериментальные исследования элементов глобальной электрической цепи в атмосфере на высокоширотных станциях с учетом влияния аэрозольных частиц» является самостоятельной, новой по постановке и решению ряда вопросов работой, отвечающей требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате, требованиям п.п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Заключение принято на объединенном семинаре отделов ФГБУ «ГГО».

В объединенном семинаре принимали участие 27 человек из 5 отделов, в том числе 3 доктора физико-математических наук и 5 кандидата физико-математических наук по профилю диссертации.

Результаты голосования: за – 27 чел., против – 0 чел., воздержалось – 0 чел.

Решение принято единогласно, протокол № 1 от 30 января 2025 г. заседания объединенного семинара отделов федерального государственного бюджетного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»

Председатель объединенного семинара,
заведующий отделом геофизического
мониторинга и исследований,
кандидат физико-математических наук



И.А. Тарабукин

Секретарь объединенного семинара,
научный сотрудник ОГМИ

А.С. Горбатовская

Подпись руки

Заверяю



Контактная информация:

194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7.

Телефон: +7 (812) 297-43-90; электронный адрес: director@voeikovmgo.ru

ВЫПИСКА

из протокола 1 от 30.01.2025 г.

В объединенном семинаре принимали участие 27 человек из 5 отделов, в том числе 3 доктора наук и 5 кандидата наук по профилю диссертации.

Председатель семинара

Тарабукин И. А.

Секретарь

Горбатовская А. С.

Повестка дня:

Рассмотрение диссертационной работы Зайнетдинова Б. Г. по теме: «Теоретические и экспериментальные исследования элементов глобальной электрической цепи в атмосфере на высокоширотных станциях с учетом влияния аэрозольных частиц».

Постановили:

Рекомендовать работу Зайнетдинова Б. Г. к защите с условием исправления замечаний.

Председатель



зав. отд.
Тарабукин И. А.

Секретарь



н. с.
Горбатовская А. С.