

УТВЕРЖДАЮ

Зам директора ФГБУ «ААНИИ»



И.М. Ашик

2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» о диссертации Зайнетдинова Булата Гаяновича на тему «Теоретические и экспериментальные исследования элементов глобальной электрической цепи в атмосфере на высокоширотных станциях с учетом влияния аэрозольных частиц», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Актуальность темы исследования

Глобальная электрическая цепь (ГЭЦ) — это всеобъемлющая концепция в атмосферном электричестве, согласно которой наэлектризованные облака генерируют распределение электромагнитных полей по всей Земле. Основными характеристиками этой цепи являются атмосферное электрическое поле и приземная проводимость воздуха. Величина атмосферного электрического поля определяется, в первую очередь, электрическим потенциалом ионосферы, создаваемым наэлектризованными облаками, преимущественно в низкоширотной зоне, и распространяющимися по всей высокопроводящей ионосфере и проводимостью атмосферы. Таким образом, у поверхности Земли должны быть видны эффекты как глобальных источников, так и локальных, обусловленных как местными метеорологическими условиями, так и антропогенными аэрозолями.

Длительные наблюдения за элементами атмосферного электричества (поле и проводимость) указывают на возможность контроля антропогенных эффектов, наиболее выраженных в материковых промышленных районах. Высокоширотные области менее всего подвержены антропогенной нагрузке. В связи с этим, данные, получаемые в

полярных областях, могут отражать глобальные процессы, связанные с образованием грозных облаков, являющихся одним из основных генераторов атмосферного электрического поля. Кроме того, в данных высокоширотных наблюдений могут быть выделены эффекты, связанные с взаимодействием Солнечного ветра с магнитосферой Земли.

Не смотря на многолетние исследования электрических характеристик приземной атмосферы в различных областях Земли, суточные и сезонные вариации атмосферного электрического поля получены только по данным единственной Российской антарктической станции Восток, где условия хорошей погоды и отсутствие антропогенных аэрозолей выполняются чаще, чем где либо. Поэтому тема диссертации, посвященная сравнительному анализу электрического состояния приземной атмосферы во внутриконтинентальных и полярных районах, является весьма актуальной.

Целью работы является исследование пространственно-временных электрических характеристик приземной атмосферы в высоких широтах, а также изучение влияния концентрации аэрозольных частиц на эти характеристики как теоретически, так и экспериментально.

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

Создание измерительного комплекса для непрерывного наблюдения за напряженностью электрического поля и проводимостью воздуха;

Создание сети станций наблюдения за электрическими характеристиками атмосферы (ЭХА) в высокоширотной зоне РФ;

Разработка теоретической модели, описывающей влияние аэрозольных частиц в атмосфере на величину электрического поля в приземном слое;

На основе полученных результатов, сформулированы критерии условий «хорошей погоды».

Получен и проанализирован ряд длительных непрерывных измерений ЭХА, а также сопутствующей метеорологической информации и данных о концентрации атмосферных аэрозолей;

Выполнена оценка влияния аэрозольных частиц на унитарную вариацию напряженности поля, а также их вклад в поведение электрической проводимости воздуха.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы подтверждается весьма значительным объемом, разнообразием и полнотой данных об исследуемых явлениях, использованием физически и математически обоснованных методов моделирования, обработки и интерпретации модельных и экспериментальных

данных, в том числе, результатами, полученных другими исследовательскими коллективами и авторами.

Все экспериментальные наблюдения проводились согласно утвержденным методикам, на оборудовании занесенном в Госреестр средств измерений как за элементами ЭХА, так и за метеорологическими параметрами.

Новизна проведенных исследований и полученных результатов состоит в том, что впервые анализируются результаты наблюдений за ЭХА, полученные на сети Российских высокоширотных станций. Все наблюдения проводились на однотипном оборудовании, внесенным в государственный реестр средств измерений и по единой методике, утвержденной Росгидрометом.

В ходе работы также получены следующие новые научные результаты:

Впервые введена в эксплуатацию непрерывно работающая, автоматизированная сеть станций в высоких широтах Северного полушария;

Разработана стационарная модель влияния слоев аэрозольных частиц на элементы глобальной электрической цепи в атмосфере;

Впервые разработан способ фильтрации данных для получения значений напряженности электрического поля свободных от воздействия метеорологических явлений;

Впервые, на основе данных многолетних наблюдений атмосферного электрического поля в высоких широтах Северного полушария, получен суточный ход интенсивности поля, качественно совпадающий с классической кривой Карнеги.;

Получены экспериментальные доказательства влияния атмосферного аэрозоля на величину электрического поля и проводимость приземной атмосферы. Сделан вывод, что критерии «хорошей погоды», получаемые при стандартных наблюдениях, недостаточны для получения классической кривой Карнеги.

Значимость научных результатов, полученных в диссертации, для науки и практики

Представленные в диссертации результаты могут быть использованы для развития методов оценки аэрозольного загрязнения атмосферы на основе анализа электрических характеристик приземной атмосферы.

Практическая значимость работы состоит, прежде всего, в том, что мониторинг электрических параметров атмосферы позволяет получать информацию не только о локальных (в районе станции наблюдений) явлениях, но и о глобальных процессах, определяющих электрический потенциал ионосферы, а это уже мониторинг глобальных климатических изменений.

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертационная работа Б.Г. Зайнетдинова состоит из Введения, четырёх Глав, Заключение, Списка цитируемой литературы (110 наименований), содержит 124 стр. текста, 26 рисунков, 14 таблиц.

Во введении: обозначена цель, дано обоснование актуальности диссертационной работы, определён круг решаемых в ней задач, сформулированы выносимые на защиту научные положения, указаны их новизна, научная и практическая значимость.

Первая глава представляет собой обзор исследований глобальной электрической цепи. Рассмотрены как экспериментальные, так и теоретические работы по исследованию ГЭЦ, рассмотрено понятие электродного эффекта, возникающего в приземном слое.

Во второй главе рассматриваются основные физико-математические модели ГЭЦ. Отдельно представлена, разработанная автором, теоретическая модель влияния слоев аэрозольных частиц в атмосфере на элементы глобальной электрической цепи. В модели аэрозоль в приземном слое атмосферы рассматривается как слагаемое, входящее в полное сопротивление столба атмосферы. При этом генераторы электрического поля, поддерживающие ГЭЦ, не учитываются, а вводятся через граничное условие на границе ионосферы в виде задания величины потенциала ионосферы. Рассмотрено влияние аэрозольных частиц на концентрацию аэроионов и, как следствие, на электрическую проводимость атмосферы. Получены численные значения зависимости напряженности электрического поля от высоты верхней границы аэрозольного слоя.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям атмосферных электрических характеристик в высоких широтах. Проведенный сравнительный анализ данных наблюдений электрического поля с данными о метеорологических явлениях за весь период наблюдений на станциях Тикси и Диксон позволил выбрать и обосновать критерии фильтрации данных. В результате показано, что данные критерии почти полностью исключают попадание в выборку данных о напряженности электрического поля, полученных в период действия метелей и позволяют получить суточный ход атмосферного электрического поля, аналогичный известной кривой Карнеги.

В четвертой главе рассмотрены экспериментальные данные о влиянии аэрозольных частиц на электрические характеристики приземной атмосферы. Основным выводом данной главы является то, что при анализе данных наблюдений за ЭХА для периодов «хорошей погоды» недостаточно общепринятых критериев, основанных лишь стандартной метеоинформации. Помимо данной информации необходимо также учитывать возможное возникновение объемного заряда в виде аэрозольных взвесей, присутствующих в воздухе, фиксация которых не входит в стандартную программу наблюдений, а возможно только

лишь при наличии специализированных аппаратно-программных комплексов. Приведены примеры фонового мониторинга ЭХА, которые доказывают возможность применения данного вида наблюдений в качестве индикатора аэрозольного загрязнения.

Замечания по диссертации в целом

Представленная диссертационная работа Зайнетдинова Б.Г. выполнена на высоком научном уровне, но не лишена ряда недостатков:

- анализируя вариации эклектического поля в высоких широтах, диссертант не учитывает вариации потенциала ионосферы, возникающие в результате взаимодействия Солнечного ветра с магнитосферой Земли. Согласно последним данным, вклад этих источников в высоких широтах может достигать 70% и более от среднего значения. (Slyunyaev, et al. (2025). The seasonal variation of the direct current global electric circuit: 1. A new analysis based on long-term measurements in Antarctica. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 130, e2024JD042633. <https://doi.org/10.1029/2024JD042633>).

- Среднее значение электрического поля на высокоширотных станциях в условиях хорошей погоды, полученное в работе, превышает 300 В/м, в то время как в реальности оно должно быть 150-200 В/м.

Следует отметить некоторую небрежность в оформлении работы. На стр. 68 повторяется фраза «Из графиков видно, что ...». На стр.71 в 1 абзаце написано что-то непонятное. В списке литературы имеются повторяющиеся ссылки, а в тексте они отсутствуют

Заключение

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертационная работа Зайнетдинова Булата Гаяновича на тему «Теоретические и экспериментальные исследования элементов глобальной электрической цепи в атмосфере на высокоширотных станциях с учетом влияния аэрозольных частиц» выполнена на высоком научном уровне, является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, имеет достаточную апробацию в виде 14 докладов на различных конференциях и 9 публикаций в научных изданиях, рекомендованных ВАК. Работа соответствует требованиям пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Зайнетдинов Булат Гаянович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18. – Науки об атмосфере и климате.

Отзыв подготовлен старшим научным сотрудником отдела геофизики федерального государственного бюджетного учреждения «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», кандидатом физико-математических наук Франк-Каменецким Александром Викторовичем.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании отдела геофизики ФГБУ «АНИИ» 29.04.2025, протокол № 35/01 25.

С.н.с. отдела геофизики
ФГБУ «АНИИ», к.ф.-м.н.

А.В. Франк-Каменецкий

