

ОТЗЫВ

официального оппонента *Нагорского П.М.* на диссертационную работу *Зайнетдинова Булата Гаяновича «Теоретические и экспериментальные исследования элементов глобальной электрической цепи в атмосфере на высокоширотных станциях с учетом влияния аэрозольных частиц»*, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – «Науки об атмосфере и климате»

I. Диссертационная работа Б.Г. Зайнетдинова посвящена решению важной научной задачи: *«Оценка, на основе теоретических и экспериментальных исследований, для условий хорошей погоды пространственно-временных вариаций электрических характеристик атмосферы в высокоширотных регионах с учетом влияния слоя аэрозольных частиц в приземной атмосфере»*.

II. Актуальность Климатические изменения ведут не только к изменению по поверхности земного шара средних температур, количества выпадающих осадков, иных метеовеличин, но и ведут к трансформации электроклимата Земли, а именно к количественному и качественному изменению пространственно-временных распределений источников и стоков, формирующих глобальную электрическую цепь (ГЭЦ). В формировании ГЭЦ важную роль играет аэрозольное загрязнение атмосферы. Полярные области являются наименее подверженными антропогенной нагрузке, поэтому получаемую с данных регионов информацию можно считать эталонной и использовать при оценке изменений электроклимата в глобальном масштабе. Однако, не смотря на многодесятилетние исследования электрических характеристик приземной атмосферы в различных регионах земного шара, до сих пор нет адекватного описания суточно-сезонных вариаций атмосферного электрического поля в высоких широтах. Поэтому тема диссертации, посвященная сравнительному анализу электрического состояния приземной атмосферы во внутриконтинентальных и полярных (фоновых) регионах является весьма *актуальной*.

III. Цель исследований Диссертация посвящена разработке теоретических и экспериментальных основ методики оценки влияния приземного слоя аэрозольных частиц субмикронного диапазона на пространственно-временные вариации электрических характеристик приземной атмосферы в арктическом регионе РФ и сопоставлению полученных результатов с внутриконтинентальными среднеширотными регионами.

IV. Структура и объем 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.

В *Первой главе* представлен обзор состояния исследований глобальной электрической цепи (ГЭЦ), рассмотрены экспериментальные работы по исследованию ГЭЦ, рассмотрено понятие электродного эффекта, возникающего в приземном слое. Показано, что на данный момент отсутствуют многопунктовые наблюдения в высоких широтах кроме тех, которые проводятся на сети станций Росгидромета.

Вторая глава посвящена разработке модели влияния слоев аэрозольных частиц в атмосфере на элементы ГЭЦ и оценке коэффициента поглощения легких ионов. Аэрозоль в приземном слое атмосферы рассматривался как слагаемое, входящее в полное сопротивление столба атмосферы. Поддерживающие ГЭЦ генераторы электрического поля E входят через граничное условие на верхней границе ионосферы в виде величины потенциала ионосферы. В результате были получены уравнения для напряженности поля с учетом коэффициента поглощения ионов для двух областей: первая – слой аэрозоля, примыкающий к земной поверхности, вторая – область, свободная от аэрозоля и расположенная выше первой. Показано, на основе аналитических решений полученных уравнений, как влияет слой аэрозоля в приземной атмосфере на радиальную составляющую напряженности – его присутствие приводит к увеличению как столбцового, так и глобального электрического сопротивления, а также потенциала ионосферы.

В *Третьей главе*, на основе длительных непрерывных рядов сетевых наблюдений за электрическими характеристиками атмосферы, установлено, что выделение унитарной вариации E требует учета множества различных факторов, а именно: а) на станциях, относящихся к городской среде, её выделение оказывается маловероятным ввиду существенного влияния процессов жизнедеятельности человека на «электрическую погоду»; б) на внутриконтинентальных станциях суточная вариация E более близка к кривой Карнеги, чем в городских условиях, однако имеет ряд особенностей; в) для станций, расположенных на малообжитых территориях в полярных регионах проявление унитарной вариации E наиболее ярко выражено, при этом не требуется введения общепринятых критериев «хорошей погоды», а достаточно лишь исключить данные, зарегистрированные в периоды наиболее опасных метеоявлений. В этой же главе по данным о напряженности поля E станций полярного региона РФ и информации о сопутствующих метеоявлениях получены оценки средних значений и СКО поля E для соответствующих метеоявлений. Здесь же сформулирован и реализован критерий фильтрации данных наблюдений (среднеминутных значений $E_{\text{ср}}$ и среднеминутного размаха колебаний ΔE), позволивший исключить из анализа данные, полученные во время таких опасных явлений как метели и грозы.

Четвертая глава посвящена оценкам влияния аэрозольных частиц субмикронного диапазона на вариации электрических характеристик приземной атмосферы в арктическом регионе РФ. По результатам анализа сезонных вариаций концентрации аэрозоля и электрических характеристик приземной атмосферы установлено, что сезонный ход электрической проводимости для всех станций имеет идентичный ход с максимумом в июле-сентябре и минимумом в феврале-апреле, а уровень концентрации аэрозоля находится в противофазе с вариациями электропроводности воздуха. Показано, что для оценок электрических характеристик приземной атмосферы для периодов «хорошей погоды» недостаточно общепринятых критериев, основанных лишь стандартной метеоинформации.

В *Заключении* суммированы основные результаты диссертационной работы.

V. Новизна проведенных исследований

Закljučается в следующем:

- впервые выявлены закономерности сезонно-суточных вариаций электрических характеристик приземного слоя атмосферы, полученные на сети высокоширотных станций северного полушария;
- сформулирована и реализована модель, учитывающая влияние слоя аэрозольных частиц в приземной атмосфере на элементы глобальной электрической цепи, допускающая аналитическое решение;
- предложен способ фильтрации данных наблюдений, позволивший исключить из анализа данные, которые были получены во время опасных метеоявлений в высокоширотной атмосфере;
- показано, что общепринятые критерии «хорошей погоды» не являются исчерпывающими критериями отбора данных при исследовании унитарной вариации.

VI. Научная и практическая значимость

Представленные в диссертации научные и научно-технические результаты могут:

- явиться основой развития технологий оценки аэрозольного загрязнения на основе сравнительного анализа электрического состояния приземной атмосферы во внутриконтинентальных и полярных (фоновых) регионах;
- быть использованы (и уже используются) в оценках особенностей климатического режима и тенденций современных климатических изменений электрического состояния приземной атмосферы на территории РФ.

Тема диссертации тесно связана с научно-техническими и научно-исследовательскими работами, проведенными в рамках плановых госбюджетных тем (в том числе: Разработка модели глобальной электрической цепи с учетом влияния аэрозольных частиц. Результаты мониторинга параметров атмосферного электричества. (ФГБУ "ТГО" _6.1)).

VII. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, достоверность результатов, апробация, публикации

Обеспечивается весьма значительным объёмом, разнообразием и полнотой данных об исследуемых явлениях, использованием физически и математически обоснованных методов моделирования, обработки и интерпретации модельных и экспериментальных данных и подтверждается, в том числе, результатами, полученных другими исследовательскими коллективами и авторами в пересекающихся областях.

Положения, выносимые на защиту, находят подтверждение в тексте диссертационной работы, а также в 24 научных работах, 9 из которых представлены в журналах из списка ВАК. Основные результаты и выводы по работе доложены, апробированы на Российских и международных конференциях и симпозиумах и включены в 8 официальных изданий Росгидромета «*Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации*», посвященных особенностям климатического режима истекшего года (2013-2021 гг.) и тенденциям современных климатических изменений на территории Российской Федерации.

В целом диссертационная работа соответствует пунктам 1, 3 и 7 Паспорта специальности 1.6.18 – «Науки об атмосфере и климате».

VIII. Недостатки работы и замечания

1. Защищаемые положения. Третье, четвертое и пятое положения, выносимые на защиту, неудачно сформулированы: из текста положений неясно, что представляют собой «*Теоретическая зависимость напряжённости электрического поля ... (3-е положение)*» и «*Статистически значимые критерии ... (4-ое положение)*»; в каком диапазоне лежат «*Экспериментальные оценки влияния аэрозольных частиц ... (5-ое положение)*». Суть этих положений вскрывается после прочтения текста диссертации.

2. В тексте диссертационной работы представлены данные о распределениях среднeminутных значений поля E во время зарегистрированных на момент измерений метеорологических явлений. Полученный результат является уникальным, поскольку получен в высокоширотном регионе на станциях, разнесенных почти на 50° по долготе, однако ни в выводах по 3-ей Главе, ни в Заключение, ни в положениях на защиту этот результат явно не выделен.

3. Достоверность результатов никак не может подтверждаться актуальностью (диссертация, стр. 11; автореферат, стр. 6), поскольку это принципиально разные вещи.

4. Прочие замечания.

- В ряде мест диссертации (стр. 94, 104) отсутствуют ссылки на литературу при наличии скобок [].
- В списке опубликованных работ статьи 6 и 7 (а также 9 и 10) это не разные статьи, а одна и та же статья, но на разных языках (русском и английском).
- Описание принципа действия флюксметра (стр. 73) следовало бы опустить.
- Стр. 74, предложение «... подтверждением корректной работы измерительного оборудования служат графики, представленные на рисунке 3.3, которые имеют *высокие значения между различными десятилетиями.*» Непонятно, что означает эта фраза.
- В тексте диссертации и автореферата встречаются неточные определения, описки в формулах, неудачные выражения, синтаксические ошибки.

Высказанные замечания не снижают общей положительной оценки выполненного диссертационного исследования и не влияют на научную и практическую значимость работы.

IX. Заключение

Совокупность представленных в диссертации результатов следует квалифицировать как решение важной научной задачи: «*Оценка, на основе теоретических и экспериментальных исследований, для условий хорошей погоды пространственно-временных вариаций электрических характеристик атмосферы в высокоширотных регионах с учетом влияния слоя аэрозольных частиц в приземной атмосфере*». Содержание диссертации, выдвинутые научные положения и сформулированные выводы дают основание заключить, что диссертация **Б.Г. Зайнетдинова «Теоретические и экспериментальные исследования элементов глобальной электрической цепи в атмосфере на высокоширотных станциях с учетом влияния аэрозольных частиц»**, является научно-квалификационной

работой, в которой решена важная научная задача, соответствующая требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук.

Автореферат диссертации в полной мере отражает её содержание.

Нагорский Петр Михайлович,
доктор физ.-мат. наук (специальность 11.00.11 – «охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов»), профессор,
главный научный сотрудник лаборатории физики климатических систем
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск.

Почтовый адрес: 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3

E-mail: npm_sta@mail.ru тел.: 8-(382)-249-15-65

Я, Нагорский Петр Михайлович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Гл. научн. сотр. ИМКЭС СО РАН, г. Томск,
доктор физ.-мат. наук, профессор



П.М. Нагорский

Подпись г.н.с. П.М. Нагорского заверяю.

Ученый секретарь ИМКЭС СО РАН,

к.г.н.



Н.Н. Чердыко

21 апреля 2025 г.

