

ОТЗЫВ

официального оппонента Клименко Максима Владимировича на диссертационную работу Сарафанова Федора Георгиевича на тему: «ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ПАТТЕРНЫ ПАРАМЕТРОВ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ: НАБЛЮДЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Тема Глобальной Электрической Цепи (ГЭЦ) представляет собой одно из приоритетных направлений в исследовании атмосферно-ионосферных взаимосвязей. Диссертационная работа Сарафанова Ф.Г. посвящена исследованию электромагнитного взаимодействия между нижней атмосферой и ионосферой, а именно влиянию вариаций и распределения атмосферных параметров на Глобальную Электрическую Цепь постоянного тока. Значимость детального учета электромагнитного взаимодействия различных слоев атмосферы общепризнанна и может играть существенную роль в формировании плазменных неоднородностей с различными пространственно-временными масштабами на различных высотах. Решение этих проблем может в дальнейшем помочь усовершенствовать прогноз состояния нижней и верхней атмосферы, который необходим для успешного планирования спутниковых миссий. Кроме того, параметры ГЭЦ, являющиеся как интегральными, так и отражающие некоторые региональные особенности, могут использоваться как индикаторы изменения климата и погоды, а также из-за наличия обратных связей влиять на процессы образования облаков. Это особенно актуально в контексте текущего изменения климата. Достижение прогресса в исследовании разномасштабных связей атмосферного электричества с погодно-климатическим состоянием атмосферы невозможно без разработки и совершенствования моделей ГЭЦ. В настоящее время существует всего несколько научных групп, ведущих разработки моделей Глобальной Электрической Цепи, одна из которых базируется в Институте Прикладной Физики в Нижнем Новгороде. В рамках диссертационной работы автору удалось совместить использование данных натурных наблюдений и результатов моделирования параметров ГЭЦ, что способствовало получению согласованной картины воздействия погоды и климата на параметры ГЭЦ.

Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка сокращений и списка литературы. Объем диссертации составляет 175 страниц, включая 61 рисунок, 3 таблицы. Список литературы содержит 191 наименование. Во введении определены цели и задачи исследований, представлены актуальность, новизна, научная и

практическая значимость, а также сформулированы основные положения, выносимые на защиту. В первой главе представлены постановка задачи и методы численного моделирования ГЭЦ постоянного тока, представлен переход от локально-плоского приближения к дискретной электротехнической модели, внедрена параметризация основных источников ГЭЦ для двумерной задачи, основанная на метеорологических параметрах. Вторая глава демонстрирует результаты модельного исследования роли солнечного нагрева, пространственного и временного распределения «грозовых центров» и основных погодных и климатических особенностей глобальной динамики атмосферы в суточных, UT- и сезонных вариациях ГЭЦ. Кроме того, во второй главе продемонстрирована принципиальная схема, описаны принципы работы и представлены первые результаты тестирования нового датчика для измерения вертикального профиля напряжённости электрического поля до высот 30–35 км для последующего расчёта ионосферного потенциала. В третьей главе обсуждаются вопросы пространственной и временной изменчивости молниевой активности и ее связи с ГЭЦ и региональными особенностями состояния атмосферы. Также в этой главе представлены данные о плотности разрядов молний по наблюдениям региональных и глобальных сетей грозопеленгации, совмещаемые с данными измерений напряжённости квазистатического электрического поля. В заключении кратко изложены основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационного исследования.

Соискателем проделана огромная работа по применению численных моделей и натурных наблюдений электрического поля и молниевых разрядов для описания влияния погодно-климатических изменений динамики атмосферы на параметры ГЭЦ. Автором осуществлено объединение погодной/климатической моделей с моделью ГЭЦ, усовершенствована параметризация токов разделения заряда за счет учета приземной температуры, извлечены из долговременных измерений электрического поля на антарктической станции «Восток» глобальные сигналы, определяемые динамикой источников ГЭЦ постоянного тока, разработан метод кластеризации пространственного распределения разрядов молний. Отдельно хотелось бы отметить вклад автора в решение практических задач. В частности, автором проведена основная часть исследований, касающихся разработки датчика атмосферного электрического поля. Выполнены численные эксперименты по оптимизации расположения наблюдательных станций пассивной грозопеленгации, в ходе которых смоделирована точность обнаружения разрядов молний для разных конфигураций сети. Изучена статистика направления прихода гроз по наблюдениям грозопеленгационной сети. Разработанная автором новая методика выделения данных хорошей погоды совместно с данными грозопеленгационных

сетей для ближних гроз позволила дополнить статистику молниевых разрядов, определив их тип и полярность.

Среди основных научных результатов диссертации хотелось бы выделить следующие. Показана важная роль приземной температуры воздуха и областей глубокой конвекции при формировании сезонной и UT вариации вклада в ионосферный потенциал. Показано, что сезонная вариация ГЭЦ определяется перераспределением по широте количества электризованных облаков глубокой конвекции вслед за инсоляцией, а на суточном масштабе — с перераспределением по долготе вслед инсоляцией. На основе результатов моделирования и по данным наблюдений выявлено, что сезонная вариация ГЭЦ достигает максимума летом Северного полушария. Найден статистически значимый отклик ионосферного потенциала (одной из основных характеристик ГЭЦ) на аномалии атмосферной конвекции, возникающие во время колебания Маддена — Джулиана и Эль-Ниньо — Южного колебания.

Диссертационная работа прошла необходимую апробацию в виде достаточного количества публикаций в рецензируемых журналах (6 статей в журналах входящих в перечень ВАК и баз данных Scopus и Web of Science), публикаций в трудах конференций, в виде докладов на научных конференциях, научных семинарах и симпозиумах, а также в виде 4 результата интеллектуальной деятельности, в том числе 1 патент на изобретение.

В изложении диссертации присутствует ряд недостатков.

1. Текст диссертации содержит некоторое количество “слэнга” (в том числе англоязычных заимствований), используемого в повседневной научной жизни, но, на мой взгляд, не уместимого в серьезной научной литературе, которым является диссертация. В качестве примеров приведу “бореальное” лето вместо лета в северном полушарии, гидростатический “решатель” вместо блока расчета атмосферной динамики в гидростатическом приближении, и т.д. Сюда же можно отнести использование терминов “столбчатая модель”, и всю Таблицу 2, которая содержит внутренние названия параметров в модели WRF, что является малоинформативным для большинства читателей за исключением активных пользователей этой модели.

2. Не нашло своего отражения в положениях выносимых на защиту запатентованное устройство для измерения высотного профиля квазистатического электрического поля атмосферы.

3. Фраза “Время суток по UT” также как суточная вариация в контексте времени UT, встречающаяся в тексте и на осях рисунков, некорректна, так как это не стандарт

времени а шкала времени. И в рамках определения кривой Карнеги необходимо говорить не о суточной, а об унитарной (UT) вариации атмосферного электрического поля и ионосферного потенциала. Следует отметить, что диссертационная работа Сарафанова Ф.Г. представила четкие доказательства определяющей роли долготной зависимости интенсивности “грозовых центров” при формировании унитарной вариации в виде кривой Карнеги.

4. Различие результатов ионосферного потенциала на рисунках 1.7 и 1.10, то есть полученных на основе моделей WRF и INMCM автор главным образом списывает на различие в используемых сетках погодной и климатической моделей. В первую очередь хотелось бы указать на различия в подходах использования автором диссертации этих моделей. При моделировании с помощью WRF автор получает результаты всегда близкие к данным реанализа (третьи сутки относительно начальных условий, заданных из реанализа), а значит близкие к существовавшей реальности. В то же время модель INMCM используется, как я понимаю, без постоянных инициализаций начальных условий. Кроме того, следует отметить, что не воспроизведение кривой Карнеги моделью ГЭЦ на базе параметров INMCM указывает на отсутствие в климатической модели неких факторов, влияющих на формирование унитарной вариации ионосферного потенциала.

5. Согласно тексту на стр. 96: “После коррекции E_z , которая заключается в удалении корреляций аномалий электрического поля с аномалиями метеорологических параметров и с аномалиями потенциала ионосферной шапки [13], наблюдаемая на станции Восток амплитуда сезонной вариации снижается до 16%.” Следует заметить, что использование данных на станции Восток даже в условиях хорошей погоды может быть сопряжено с трудностями в интерпретации из-за возможного влияния на эти данные геомагнитных возмущений посредством изменения электрического поля магнитосферной конвекции. Согласно Замай и др. [2024] геомагнитные возмущения посредством изменения электрического потенциала в ионосфере приводят к изменению электрического поля во всей атмосфере, включая ее приземный слой, особенно в высокоширотном регионе. Учитывался ли этот факт при использовании данных станции Восток? При отборе дней хорошей погоды, особенно для высокоширотной станции я бы советовал не рассматривать геомагнитно-возмущенные дни.

6. В тексте диссертации отмечены опечатки и неточности. Например, в формуле на стр. 29 у проводимости сигмы потерян индекс j ; на стр. 39 упоминается предыдущий этап проекта; в формуле (1.15) индекс в суммировании должен быть k ; на стр. 43 неясно, что такое вклад в сопротивление соответствующих столбцов.

Отмеченные замечания носят уточняющий характер и не снижают ценность основных результатов диссертационной работы. Диссертационная работа «ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ПАТТЕРНЫ ПАРАМЕТРОВ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ: НАБЛЮДЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Сарафанов Федор Георгиевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – науки об атмосфере и климате.

Директор, ведущий научный сотрудник

Калининградского Филиала ФГБУН Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (КФ ИЗМИРАН)

доктор физико-математических наук

/Клименко М.В./

Россия, 236017 г. Калининград, ул. Пионерская, д. 61,

e-mail: mvklimenko@wdizmiran.ru

01 октября 2025 г.

Подпись Клименко М.В. заверяю

Главный бухгалтер КФ ИЗМИРАН

Т.П. Кириллова



Я, Клименко Максим Владимирович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

01 октября 2025 г.

/Клименко М.В./