

Отзыв

официального оппонента доктора физико-математических наук Морозова Владимира Николаевича о диссертационной работе Слюняева Николая Николаевича «Теоретическое исследование структуры и динамики глобальной электрической цепи», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы.

Диссертационная работа Н.Н.Слюняева посвящена одной из важных проблем в теории атмосферного электричества – глобальной электрической цепи в атмосфере, которая непосредственно связана с задачей о выяснении природы электрического поля атмосферы. Диссертант в данной работе проводит теоретическое исследование этой проблемы, которое включает математический вывод уравнений, описывающих глобальную электрическую цепь (ГЭЦ), исходя из системы уравнений Максвелла, а также формулирует различные краевые условия для решения задач в этой области атмосферного электричества. Согласно современным представлениям, основным генератором, поддерживающим глобальную электрическую цепь, являются грозовые облака в их стадии разделения электрических зарядов. Здесь диссертант исследует два возможных варианта действия этих облаков: как генераторов электрического тока и как генераторов электрического напряжения.

Необходимо отметить, что первая физико-математическая модель глобальной электрической цепи в атмосфере была разработана американскими геофизиками Роблом и Хейсом в 70-х годах прошлого столетия. Эта модель была аналитической, грозовые облака рассматривались как токовые генераторы в дипольном приближении, предполагалось, что они действуют в экваториальной зоне земного шара. На основе полученных аналитических решений в различных областях атмосферы были рассчитаны распределения электрических полей в атмосфере. Из российских работ в этой области необходимо отметить монографию И.М.Имянитова и Е.В.Чубариной «Электричество свободной атмосферы», вышедшую в свет в 1965 году, в которой была предложена кулоновская модель электрического поля атмосферы.

Актуальность представленной диссертационной работы определяется необходимостью интерпретации вариаций электрического поля различных временных масштабов, начиная от суточного, обусловленного грозовыми процессами, до месячного и годовичного временных масштабов, обусловленных солнечной активностью. Требуют интерпретации экспериментальные данные по измерению токов и электрических полей над грозовыми облаками. Существует также проблема поддержания электрического поля в свободной атмосфере. По оценкам ряда исследователей, электрическое поле атмосферы в отсутствие источников, его поддерживающих, исчезло бы за время около 10 мин.

В первой главе диссертации рассматривается общая математическая формулировка задачи о глобальной электрической цепи. Хотя уравнения для электрического поля для стационарного и нестационарного случаев известны и используются при построении моделей глобальной электрической цепи (ГЭЦ), диссертант, используя современные

методы математической физики, показывает, что для их корректного использования необходимо добавить к этому уравнению интегральное соотношение, представляющее собой интеграл по замкнутой поверхности в атмосфере от исходного уравнения. Это соотношение позволяет при заданном стороннем токе грозового генератора определить очень важную величину, характеризующую электрическое поле атмосферы – потенциал ионосферы. Выражение для потенциала ионосферы выводится во второй главе диссертации, здесь же показывается корректность нестационарной и стационарной задач с использованием результатов математического приложения А. Для стационарной задачи обосновывается схема расчета с использованием эквивалентных токовых контуров. Интересно отметить, что вычисление потенциала ионосферы по формуле, полученной во второй главе, совпадает с результатами, полученными в более ранних работах. Также в этой главе формулируются различные граничные условия, которые можно использовать при построении различных вариантов моделей глобальной электрической цепи, включая и учет анизотропии электрической проводимости на нижней границе ионосферы: Хейс и Робл используют в своей работе условие непрерывности электрического потенциала и плотности электрического тока на силовой линии земного магнитного поля вследствие высокой электропроводности ионосферы. Используя эти два условия, можно получить выражение для потенциала ионосферы. Но, как показано в работах, которые проводились в Главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова, интегральное соотношение, определяющее баланс токов в атмосфере, можно использовать и в этом случае. Рассматривается плоскопараллельная модель глобальной электрической цепи (ГЭЦ), основанная на известной работе Хольцера и Саксона, фактически диссертант ее повторяет. На основе полученного решения переходом к сферической геометрии получено выражение для потенциала ионосферы. Надо отметить, что этот результат не является новым. Он приведен в нашей монографии (Морозов В.Н. Математическое моделирование атмосферно-электрических процессов с учетом влияния аэрозольных частиц и радиоактивных веществ. СПб, РГТУ, 2011).

В третьей главе диссертации с использованием результатов второй главы рассматриваются следующие задачи: исследуется простейшая модельная задача о вкладе отдельного грозового облака в ГЭЦ и на ее примере рассматриваются два метода решения этой задачи: с помощью численной модели и аналитически с помощью эквивалентного токового контура. Далее диссертант проводит сравнение в модели эквивалентного токового контура двух типов грозовых генераторов: как источников постоянного тока и как источников постоянного напряжения. Не совсем понятно утверждение диссертанта о более широком спектре механизмов электризации в модели Марксона. Вводится также единая концепция источника стороннего тока, основанная на предположении, что величина стороннего тока зависит от напряженности электрического поля внутри облака. Возникает вопрос: когда это имеет место? По нашему мнению, в диссертации отсутствует анализ причин возникновения стадии развития грозового облака, на которой его можно рассматривать как источник напряжения. Исследуется также зависимость понижения электрической проводимости внутри грозовых облаков на ее вклад в потенциал ионосферы, а также анализируется применимость контурной модели в этом случае. Получена связь между потенциалом ионосферы и полным током в ГЭЦ. Показано, что при однородных возмущениях проводимости в стратосфере в модели Марксона потенциал атмосферы и полный ток изменяются в фазе, а в модели постоянного тока в противофазе

при условии понижения проводимости в грозовых облаках. В этой главе также получено выражение для потенциала ионосферы, создаваемого грозовым облаком, являющимся источником постоянного напряжения. В рамках токовой модели грозового облака рассмотрена задача о влиянии понижения электрической проводимости в облаке на потенциал ионосферы. Результаты проведенных расчетов показывают существенное увеличение потенциала ионосферы, создаваемое понижением электропроводности в совокупности грозовых облаков. Исследуются задачи о влиянии солнечной активности через Форбуш-понижение интенсивности галактических космических лучей, солнечных вспышек, повышение ионизации в стратосфере в период масштабных испытаний ядерного оружия в 1950–1960-е годы на динамику ионосферного потенциала и полного атмосферного электрического тока. Для задачи, связанной с повышением ионизации в стратосфере, были проведены расчеты указанных выше величин для модели грозового облака как источника тока и для модели Марксона, были получены оценки вариаций потенциала ионосферы, при этом учитывалась возможность понижения электрической проводимости в грозовых облаках и повышения этой величины под облаками. Величины этих оценок отрицательны в первом случае и положительны во втором, хотя имеет место случай, когда в источнике постоянного тока проводимость остается неизменной, а проводимость под облаками увеличивается в 20 раз, при этом увеличение потенциала ионосферы составило 2%. Рассмотрена также интересная задача об эволюции ионосферного потенциала и полного тока в глобальной электрической цепи на протяжении одного цикла солнечной активности. Задача решалась для случая грозовых источников с постоянным током, и модельные расчеты были проведены при двух предположениях: электрическая проводимость внутри источников не менялась и эта же величина уменьшалась в источниках в 10 раз. Как следует из расчетов, проведенных диссертантом, изменения потенциала ионосферы составляют 3.5%, а изменения полного тока 1.3%. Возникает вопрос: можно ли проверить эти результаты экспериментально?

В четвертой главе, посвященной одномерной параметризации грозовых источников, диссертант рассматривает одномерную модель грозы с токами, которые учитывают трехзарядовую структуру грозового облака. Восходящий сторонний ток создает два электрических заряда – положительный и отрицательный, а нисходящий ток создает третий положительный заряд. Электрическая проводимость в таком облаке понижена. На верхней и нижней границах облака возникают скачки электрической проводимости, что приводит к возникновению электрических зарядов на этих границах (см. монографию Имянитова, Чубарина, Шварца «Электричество облаков» и некоторые работы по численному моделированию грозовых облаков). Обсуждается задача о замене реальных грозовых облаков эквивалентными диполями, что в ряде случаев может упростить решение глобальных задач, например решение задачи о влиянии конвективного токового генератора на потенциал ионосферы. Надо также отметить, что третий положительный заряд под отрицательным зарядом облака обусловлен, как это следует из результатов численного моделирования, поляризационным механизмом столкновений частиц в электрическом поле, который рассматривается в ряде моделей зарубежных исследователей. В одномерном приближении получены также выражения для потенциала электрического поля и тока в ГЭЦ, создаваемого одним облаком, которые затем переносятся на совокупность независимых грозовых облаков. Оценивается число грозовых облаков, необходимых для поддержания баланса токовой цепи в земной

атмосфере. Оно оказывается на порядок выше общепринятого значения, равного 2000 грозовых облаков. Здесь можно согласиться с точкой зрения диссертанта, что информация о числе грозовых облаков, действующих в данный момент по всему земному шару, крайне мала и дальнейшие исследования в этой области должны показать, насколько верна эта оценка.

Ситуация в теории глобальной электрической цепи такова, что, поскольку основным генератором являются грозовые облака, действующие в стадии, когда имеет место процесс разделения зарядов в облаках, существенное продвижение в этой области возможно только при построении нестационарной трехмерной модели осадкообразующего конвективного облака с учетом процессов электризации. Создание такой модели могло бы ответить на вопрос, на каком временном интервале электрической эволюции работает гипотеза Марксона, а на каком интервале облако начинает действовать как источник постоянного тока.

Диссертация Слюняева Николая Николаевича выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и содержит решение ряда задач, связанных с исследованием структуры и динамики глобальной электрической цепи в земной атмосфере. Результаты диссертационной работы имеют важное значение для построения общей модели глобальной электрической цепи, а также определения влияния, которое оказывают на динамику электрического состояния атмосферы воздействия естественного и антропогенного происхождения в виде аэрозольных частиц, радиоактивных веществ и космических лучей.

Основные научные результаты опубликованы в рецензируемых журналах.

Диссертация соответствует критериям, установленным п.9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842) для ученой степени кандидата наук, а ее автор Н.Н. Слюняев достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник
Федерального государственного
бюджетного учреждения «Главная
геофизическая обсерватория имени
А.И.Воейкова»

Владимир Николаевич Морозов

194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева д. 7
тел.: 8(812)-297-86-73
e-mail: vn.morozov@inbox.ru

Подпись д.ф.-м.н. В.Н.Морозова заверяю
Ученый секретарь ФГБУ «ГГО»



Е.Л.Махоткина