

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Синькевича А.А. на диссертационную работу Евтушенко Андрея Александровича: «ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ИНИЦИАЦИИ, ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ И ГЛОБАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТНЫХ РАЗРЯДОВ В АТМОСФЕРЕ», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности - 1.6.18 – науки об атмосфере и климате

Диссертационная работа Евтушенко А.А. посвящена исследованию высотных электрических разрядов, которые наблюдаются в стратосфере, мезосфере и ионосфере. Рассматриваются вопросы, связанные с появлением и развитием электрических разрядов и их глобальным распределением. Обсуждаются химические реакции, которые имеют место при таких разрядах. Предложен новый метод определения местоположения спрайтов с использованием измерений гронопеленгационной системы WWLLN.

Диссертация Евтушенко А.А. состоит из введения, трех глав, заключения и двух приложений. Общий объем работы 219 страниц, включая 104 рисунка и список литературы из 156 наименований.

**Во введении** представлен краткий исторический обзор наблюдений за электрическими разрядами, которые имеют место в атмосфере выше тропосферы. Отмечается, что впервые они наблюдались в 1989 г, т.е. сравнительно недавно. В США проводятся интенсивные работы по изучению этих разрядов. Для этой цели привлекались специально оборудованные самолеты. К настоящему времени сложилась общепринятая классификация высотных разрядов, включающая спрайты, гало, эльфы и джеты. Автором работы обсуждаются параметры этих разрядов, дается информация об особенностях их появления и высоте расположения. Рассматривается структура кучево-дождевых облаков, над которыми наблюдаются высотные электрические разряды. В связи с тем, что основные данные, характеризующие рассматриваемые разряды, получены на основе наблюдений в оптическом диапазоне спектра, в диссертации приводятся достаточно подробные сведения о спектральном составе излучаемой радиации. Отмечается, что существенный вклад в изучение рассматриваемого явления внесло использование космических аппаратов. Выполнялись измерения низкочастотного магнитного поля в период появления спрайтов, которые позволили оценить возможную силу тока в них и

переносимый заряд. Измерялись и радиочастотные характеристики спрайтов. Указывается на важность появления положительных молний для инициализации спрайтов. Представлены имеющиеся данные о химических реакциях, которые идут при появлении рассматриваемых разрядов. Обсуждаются вопросы о глобальном распределении спрайтов. Представлены данные о результатах лабораторного моделирования спрайтов.

Обсуждается актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, раскрыты научная новизна и практическая значимость, приведены результаты апробации работы. Сформулированы результаты исследований, выносимых на защиту.

Дана развернутая характеристика содержания диссертации по главам. Актуальность работы не вызывает сомнения, т.к. исследование электрических разрядов в верхних слоях атмосферы расширяет наши знания, позволяет оценивать изменения в химическом составе, получать сведения еще об одном явлении, приводящем к излучению в радио и оптическом диапазоне.

Представление детальных данных о технических характеристиках приборов, методах их градуировки и т.д. во введении затрудняет чтение диссертации. Здесь следовало бы дать лишь самый краткий обзор того, что сделано, а все детали представить в соответствующих главах.

Диссертант активно участвовал в многочисленных конференциях, опубликовал 17 статей (в том числе в соавторстве), что является хорошим показателем научной активности. Учитывая, что работа носила комплексный характер, в которой принимало участие много ученых, в диссертации четко излагается роль автора в указанных работах, которая была значительной.

**В первой главе** представлены результаты развития плазмохимической модели спрайта и гало. Диссертантом была разработана плазмохимическая самосогласованная модель воздействия возмущения электрического поля на состав мезосферы. Обосновывается выбор системы химических реакций в условиях электрического разряда. Показано, что электрический разряд начинается на высоте примерно 80 км. Исследована проводимость атмосферы в этой области и ее изменения при спрайте. Рассматриваются ночные и дневные условия. Делается вывод о возможности инициализации высотных разрядов типа спрайт/гало в дневных условиях. Установлено, что необходимые условия для инициализации дневного спрайта/гало создаются на высотах на 20 км ниже, чем для ночных разрядов. Получены сведения о пороговом значении дипольного момента электрического поля для инициализации спрайта.

Обсуждаются особенности реакций при разных импульсно дипольных моментах. Автор указывает на то, что возмущение электрического поля в мезосфере является следствием разрядных процессов в тропосфере.

При появлении молний облако-земля в облаке формируется значительный нескомпенсированный заряд. Диссертант утверждает следующее: “В результате развития особенно мощных разрядов облако-земля (в основном положительной, в редких случаях отрицательной полярности), в облаке формируется значительный нескомпенсированный заряд”. Однако этот заряд может быть полностью скомпенсирован зарядом экранирующих вышележащих слоев облака и не оказывать какого-либо заметного влияния на электрическое поле над облаком. Имеется достаточно большое количество публикаций по данному вопросу, в диссертации это не обсуждается, а постулируется, что облако имеет двухполюсную электрическую структуру. Не очень понятно, как этот заряд воздействует на электрическое поле на высотах мезосферы. Предложенная в диссертации модель облака в виде двухполюсника является грубым упрощением реальной электрической структуры облака. В грозовых облаках имеет место многослойная электрическая структура. Более того, наличие экранирующих слоев в верхней части облака способно полностью нейтрализовать влияние нижележащих слоев на электрическое поле над облаком (см, например - Михайловский Ю.П., Торопова М.Л., Веремей Н.Е., Довгалюк Ю.А., Синькевич А.А., Янг Дж., Лу Дж. Динамика электрической структуры кучево-дождевых облаков. Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2021. Т. 64. № 5. С. 341-353).

На рис. 1.18 показан характерный профиль магнитного поля, когда первый пик поля связан с родительской вспышкой, а второй пик может соответствовать спрайту. Непонятно, почему второй импульс на осциллограмме изменения магнитного поля при разряде относится к спрайту, а не еще к одному разряду молнии на землю или к разряду облако-облако (рис.1.18). В дальнейшем автор считает, что это импульсы от спрайтов, но доказательств не приводит.

**Во второй главе** рассматривается возможность определения спрайтов на основе данных глобальной грозопеленгационной сети WWLLN (World Wide Lightning Location Network). Дается описание грозопеленгационной сети, приводятся основные характеристики. Обсуждаются данные о молниях, которые были получены с использованием WWLLN. Указывается на то, что спрайты наиболее вероятны при положительных молниях.

По данным WWLLN исследована возможность появления спрайтов над океанами и сушей. Установлено, что спрайтов над океанами должно быть несколько больше, чем над

сушей, но плотность их распределения в 3 раза меньше, чем над сушей. По результатам анализа данных измерений электрических разрядов за 2016 год получено сезонное и глобальное распределение спрайтов в атмосфере. Области с высокой активностью спрайтов, предсказанные предложенной параметризацией, совпадают с таковыми по результатам натуральных наблюдений в определенные сезоны. Моделирование показало, что в среднем происходит 870 спрайтов в день, или 0,6 спрайтов в минуту, что согласуется с оценками количества спрайтов, полученными другими методами. Непонятно, о каких методах идет речь? Надо было привести соответствующие данные, которые подтверждают указанное утверждение, и, следовательно, показывают, что предложенная методика может корректно определять спрайты.

Вопрос о погрешностях детектирования спрайтов плохо исследован. Автор обсуждает погрешность определения системой WWLLN энергии RMS\_Energy. При этом не указывается и не обсуждается вообще, о какой погрешности идет речь - случайной, систематической? Непонятно, какова итоговая погрешность представленных данных о глобальном распределении спрайтов? Как эта погрешность меняется в зависимости от ночных/дневных условий, географического положения, количества станций?

**В третьей главе** рассматриваются результаты лабораторного моделирования разрядов. Моделирование выполнялось на уникальном стенде, где можно было создавать градиент давления. Удалось достичь перепада давления в 100 раз на межэлектродном промежутке. Это является несомненным достоинством применяемой установки. Установка позволила в общих чертах моделировать условия, характерные для появления спрайтов. Проведен цикл экспериментов, который показал, что моделируемый электрический разряд по своей структуре близок к спрайту. Работы в основном носили качественный характер. Исследовалась форма газового разряда, сравнивалась с типичной формой спрайтов. Показано, что лабораторная установка может использоваться для моделирования спрайтов. На данном этапе результатом является техническое средство, позволяющее моделировать спрайты. В диссертации приводится мало данных измерений характеристик этих спрайтов, в частности, спектров излучения и др. Однако, это достаточно сложные задачи, которые выходят за рамки настоящей работы.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

**Список литературы** включает 156 источников. В подавляющем большинстве цитируются работы зарубежных ученых, а также коллег диссертанта. Отсутствуют ссылки

на работы ученых РФ, в которых исследовалась электрическая структура грозовых кучево-дождевых облаков. В частности, нет ссылок на исследования ВГИ, ГГО и др. институтов, которые являются лидерами в РФ в области исследования атмосферно-электрических процессов. Это указывает на то, что анализ литературы выполнен не полностью.

Отсутствуют сведения о внедрении результатов работы. Можно полагать, что они использовались в учебном процессе, были включены в научные отчеты, гранты. Однако эта информация полностью отсутствует, хотя по формальным признакам является важной.

В целом, работа выполнена на высоком научно-техническом уровне. Она прошла апробацию на многих отечественных и международных совещаниях и симпозиумах. По теме диссертации опубликовано 15 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК, из них в 11 автор диссертации является первым автором. Все это подтверждает обоснованность научных положений и выводов.

Новизна работы связана с изучением спрайтов в ночных и дневных условиях. Впервые предложена самосогласованная плазмохимическая модель спрайта, которая учитывает процессы протекания тока в тропосферном разряде и изменения в динамике электрического поля. Достоверность работы обусловлена детальной проработкой методов изучения спрайтов.

Сделанные рецензентом замечания и пожелания не снижают ценности работы, а в значительной степени, направлены на рекомендации для дальнейших исследований.

Результаты работы, включающие новые данные, следует внедрять в учебные процессы институтов и университетов.

Считаю, что диссертационная работа Евтушенко А.А. « ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ИНИЦИАЦИИ, ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ И ГЛОБАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТНЫХ РАЗРЯДОВ В АТМОСФЕРЕ», представленная на соискание учёной степени доктора физико-математических наук, полностью соответствует требованиям ВАК, а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.18 – науки об атмосфере и климате.

Официальный оппонент,  
Синькевич Андрей Александрович  
доктор технических наук  
(11.00.09. Метеорология, климатология, агроклиматология)

д.27, пос. Воейково, Всеволожский район, Ленинградская обл., Россия, 188685  
Тел. +79062262149

sinkevich51@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение "Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова" (ФГБУ "ГГО")

Главный научный сотрудник

  
(подпись) Синкевич А.А  
(инициалы, фамилия)

23 августа 2023 г.

Я, Синкевич Андрей Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных, содержащихся в настоящем отзыве, в документы, связанные с защитой диссертации Евтушенко Андрея Александровича, и их дальнейшую обработку.

23 августа 2023 г.

  
(подпись) Синкевич А.А  
(инициалы, фамилия)

Подпись руки заверяю

Зав. отделом кадров ФГБУ "ГГО"

Потапова С.Н.



