

Отзыв на автореферат диссертации  
Евтушенко Андрея Александровича  
**«Исследование условий инициации, особенностей развития и глобального  
распределения высотных разрядов в атмосфере»,**  
представленной на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук  
по специальности 1.6.18 - «Науки об атмосфере и климате»

В последние десятилетия, благодаря интенсивному развитию методов дистанционного зондирования, стал очевидным глобальный масштаб таких впечатляющих атмосферных электрических явлений, как эльфы, спрайты, джеты и гало, происходящих в стратосфере и мезосфере. Заметное влияние грозовой активности на глобальный круговорот азота, формирование гидроксильных радикалов, воспроизводство малых газовых составляющих и тем самым на баланс солнечной радиации и климат очевидным образом говорит об актуальности и значимости рассматриваемых и решаемых в диссертации А.А. Евтушенко проблем. Представленная работа, посвященная комплексному изучению физико-химических процессов, инициируемых в процессе высотной грозовой активности, представляет важный шаг в данном направлении и являет собой образец успешного, методичного и последовательного сочетания современных экспериментальных и модельных подходов.

Первый раздел автореферата, посвященный актуальности исследования, на деле представляет собой качественный обзор, в котором, собственно об актуальности ничего и не сказано. Здесь стоит отметить, что в такой обзор уместно было бы включить и упоминание работ диссертанта и его коллег по ИПФ РАН, занимающих в этой области наук об атмосфере вполне лидерские позиции.

Целью диссертационной работы А.А. Евтушенко является актуальная задача по исследованию физико-химических процессов в атмосфере при инициации высотных разрядов и изучению глобального распределения спрайтов. Перечислены конкретные задачи, решаемые в диссертационной работе: задачи: определение основных химических компонент и их начальных концентраций, необходимых для описания химического состава мезосферы, определение химических и фотохимических реакций, достаточных для описания возмущения химического баланса мезосферы, вызываемого высотным разрядом; создание программно-вычислительного комплекса для моделирования и анализа химико-физических процессов во время и после высотного разряда; исследование влияния спрайта и гало на химический состав мезосферы; параметризация распределения спрайтов по данным глобальной сети гронопеленгации WWLLN; изучение распределений положительных и отрицательных спрайтов, чувствительности модели к начальным данным системы WWLLN и вариациям основных параметров; создание экспериментального стенда «Спрайт», предназначенного для моделирования протяженных разрядов в градиенте давления и, соответственно, стендовое исследование свойств и параметров разряда.

Далее по тексту отмечена новизна работы, которая здесь несомненна. Диссертантом реализован комплексный подход к изучению явления. Им впервые предложена и применена самосогласованная плазмохимическая модель спрайта, которая учитывает процессы протекания тока в тропосферном разряде и изменение в динамике электрического поля, в результате возмущения химического состава и проводимости мезосферы. Развита параметризация для глобального распределения спрайтов по данным сети грозопеленгации WWLLN, которая позволяет исследовать региональные и сезонные распределение разрядов с существенно более высоким разрешением, чем с использованием спутниковых и других видов наблюдений! Подчеркнуты уникальные особенности и отличия экспериментального стенда для моделирования высотного разряда «Спрайт».

В первой главе «представлена самосогласованная радиально-симметричная плазмохимическая модель влияния спрайта на состав ночной мезосферы и спрайта/гало на состав дневной мезосферы». Приводится достаточно понятное описание созданного диссертантом программно-вычислительного комплекса, рассматривающего систему из 267 химических реакций и описывающего 61 химическую компоненту. Вместе с тем не приводится никаких данных о «радиально-симметричной» составляющей модели. О том, что она такова можно рассудить только по упоминанию тороидальных компонент и графических результатов моделирования. Представление уравнений модели даже в условно-сжатом виде было бы желательным. Сами результаты применения модели к конкретным ситуациям хорошо проиллюстрированы и описаны.

Вторая глава посвящена развитию подхода для параметризации спрайтов на основе данных глобальной грозопеленгационной сети WWLLN (World Wide Lightning Location Network). Описываются условия инициации спрайтов, учитываемые при параметризации. Полученное в результате моделирования глобальное распределение сравнивается с данными и продемонстрировано в целом его качественное согласие со в ряде областей При. Исследована также чувствительность от качества начальных данных сети.

Результаты третьей главы посвящена воспроизведению\моделированию спрайтов в лабораторных условиях. Представлена схема экспериментального стенда «Спрайт» с рабочим объемом около 4 кбм. Описаны технические детали установки, систем питания, синхронизации, регистрации. Обсуждаются подробно экспериментальные результаты, выглядящие весьма убедительно. Эксперименты проводились при малых и высоких перепадах давления. Надо отметить, что диссертант в работе достаточно внимательно и требовательно относится к выполнению условий подобия, которые также здесь обсуждаются. Температура электронов в плазме спрайта ( $<3-5$  эВ) приблизительно соответствует лабораторному разряду. Переходная область спрайта – 10-20 км, а продольный размер лабораторного разряда  $\sim 0.5$  м. Масштабный коэффициент  $\gamma=2-4 \cdot 10^4$ . Концентрация частиц и плотность тока масштабируется пропорционально  $\gamma^{-2}$ . Диаметр филамент и время развития разряда масштабируется пропорционально  $\gamma$ .

Приводятся параметры реальных и лабораторных разрядов, показывающих удовлетворение требованиям подобия. Данная глава представляется наиболее яркой.

В заключении сформулированы основные результаты.

В работе А.А. Евтушенко представлены результаты комплексного исследования высотных разрядов по трем взаимодополняющим направлениям исследований, которые при использовании вместе могут дать существенно более полную информацию по разрядным процессам в атмосфере, нежели по отдельности.

Впервые предложена радиально-симметричная самосогласованная плазмохимическая модель, которая позволяет проанализировать особенности развития высотного разряда с учетом особенностей протекания тока в «родительском» тропосферном молниевом разряде и изменения проводимости, химического состава мезосферы во время развития высотного разряда с соответствующим изменением в динамике электрического поля. для спрайта на высотах 60-90 км в ночных условиях.

Показана возможность инициации гало в дневных условиях на основе проведенного моделирования. Установлено, что характерная высота инициации разрядов определяется проводимостью атмосферы и смещена вниз на 20 км относительно ночных условий. Во время гало характерные поля 80–100 Тд формируются на высоте 56–64 км и радиусом 30 км, что приводит к быстрому прилипанию электронов к кислороду, падению проводимости на 2–4 порядка и излучению.

Показано, что самосогласованный учет электрического поля во время развития спрайта, как в ночных, так и в дневных условиях, приводит к лавинообразному росту концентрации электронов, сопровождающимся возмущением проводимости и формированием тороидальной структуры разряда, когда электрическое поле вытесняется из центральной части спрайта, а на удалении от оси разряда свечение продолжается.

Предложена модель для расчета глобального распределения спрайтов по данным сети грозопеленгации WWLLN, которая позволяет выделить региональные и сезонные особенности развития спрайтовой активности, что упростит планирование наблюдательных компаний за высотными разрядами. Анализ на примере 2016 гз показал, что в среднем и при значительной сезонной изменчивости создаются условия для инициации 870 спрайтов в день. Количество спрайтов над сушей и океаном за год распределено неравномерно: с января по апрель количество разрядов примерно совпадает, а с мая по декабрь количество разрядов над океаном выше на 20% и более, что приводит к среднему распределению суша/океан 41,4/58,6%.

Создан уникальный экспериментальный стенд «Спайт», предназначенный для лабораторного моделирования разряда в протяженном градиенте давления в режиме импульсного напуска рабочего газа. На стенде реализован перепад давления до 100 раз на межэлектродном промежутке около 80 см, при сохранении дозвукового режима распространения фронта давления воздуха. На лабораторной

установке получен разряд, который по параметрам подобия для приведенного электрического поля, концентрации электронов, плотности тока, размера филамент соответствует спрайту на высотах от 70 до 90 км. Таким образом, в эксперименте были воспроизведены одновременно переходная, стримерная и диффузная области высотного разряда. Моделирование на экспериментальном стенде «Спрайт» в совокупности с разносторонней диагностикой позволит более глубоко разобраться в особенностях инициации и динамики развития спрайтов и других типов разрядов.

Надо отметить, что автореферат, хорошо структурирован, достаточно проиллюстрирован, написан четким языком и дает полное представление о выполненной работе и ее результатах.

Характеризуя в целом диссертацию по ее автореферату и опубликованных автором статей в ведущих журналах, выступлениям на конференциях, можно сделать вывод, что диссертация является законченным научным исследованием и удовлетворяет требованиям и критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней от 24 сентября 2013 г. №842 к докторским диссертациям, а её автор – Андрей Александрович Евтушенко заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.18 – «Науки об атмосфере и климате».

и.о. заместителя директора  
ИФА им. А.М. Обухова РАН,  
Заведующий лабораторией  
геофизической гидродинамики



/Чхетиани О.Г./

19 сентября 2023 г.

Контактные данные:

Тел.: 8(916)400-58-06, e-mail: [ochkhet@ifaran.ru](mailto:ochkhet@ifaran.ru)

Специальность, по которой автором отзывается защищена диссертация: 01.04.02 – «Теоретическая физика»

Адрес места работы: 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3

Тел.: 8(495) 951-07-10, e-mail: [ifaran@ifaran.ru](mailto:ifaran@ifaran.ru)

Я, Чхетиани Отто Гурамович, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

/Чхетиани О.Г./

19 сентября 2023 г.

«Подпись сотрудника Чхетиани Отто Гурамовича удостоверяю»:

Ученый секретарь ИФА им. А.М. Обухова РАН  
канд. геогр. наук



/Краснокутская Л.Д./