

ОТЗЫВ

на диссертацию Евтушенко Андрея Александровича

« ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ИНИЦИАЦИИ, ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ И ГЛОБАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТНЫХ РАЗРЯДОВ»

на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

по специальности 1.6.18 – науки об атмосфере и климате

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН, г. Нижний Новгород).

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

1. Актуальность тематики диссертации:

Открытие уникального явления - высотных разрядов (спрайтов, джетов, гало и эльфов) привело к исследованию их роли в воздействии на химический состав, проводимость атмосферы и других воздействиях на атмосферу. Возмущение электрического поля во время высотного разряда инициирует плазмохимические реакции, приводящие к ионизации и возбуждению атомов и молекул. Известно, что спрайты занимают объем в несколько тысяч кубических километров, характеризуются высокой частотой инициации. Джеты интересны тем, что проходят через озоновый слой. В частности, концентрации O₃, NO, N₂O возрастают на порядки, при развитии голубого джета, и увеличиваются с уменьшением высоты исследования. Спутниковые наблюдения показали, что было зарегистрировано 633 спрайта, 5 434 эльфов, 657 гало и 13 гигантских джетов. Было показано, что глобальная частота инициации спрайтов составляет 1 событие в минуту. Таким образом, изучение этого явления, приносящего новые знания, является несомненно актуальным.

Данная диссертация посвящена комплексному изучению физико-химических процессов во время высотных разрядов. Предложена самосогласованная аксиально-симметричная плазмохимическая модель и применена для расчета возмущения химического баланса мезосферы во время спрайта и гало. Предложена новая параметризация для изучения глобального распределения спрайтов по данным сети грозопеленгации. Впервые реализовано моделирование спрайтов на лабораторной установке в градиенте давления.

2. Научные задачи, которые ставились автором:

- Определение основных химических компонент и их начальных концентраций в интересующем диапазоне высот, необходимых для описания химического состава мезосферы в ночных и дневных условиях, определение списка химических и фотохимических реакций 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 в самосогласованной радиально-симметричной плазмохимической модели с учетом изменения проводимости, обусловленного высотным разрядом, в дневных и ночных условиях.
- Создание параметризации для распределения спрайтов по данным глобальной сети грозопеленгации.
- Изучение сезонного, зонального распределения положительных и отрицательных спрайтов, исследование чувствительности предложенной модели к начальным данным системы WWLLN и вариациям основных параметров.
- Создание экспериментального стенда «Спрайт», предназначенного для моделирования протяженных разрядов в градиенте давления.

3. Новизна работы

В работе реализован комплексный подход к изучению одного из самых интересных для моделирования высотных разрядов – спрайтов в ночных и дневных условиях (в дневных условиях дополнительно изучены тесно связанные со спрайтами гало). Впервые предложена 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. Модель была применена для спрайтов в ночных условиях и для спрайтов/гало в дневных условиях. Предложенная модель для глобального распределения спрайтов по данным сети грозопеленгации WWLLN, кроме среднего значения количества спрайтов за минуту в глобальном масштабе, позволяет исследовать региональные и сезонные распределение разрядов с существенно более высоким разрешением, чем с использованием спутниковых и других видов наблюдений. Моделирование высотного разряда на экспериментальном стенде «Спрайт» принципиально отличается от проводимых ранее в мире экспериментов: высотный разряд моделируется в градиенте давления и одновременно существуют диффузная, переходная и стримерная области. Именно в такой постановке эксперимента можно говорить о моделировании «всего» высотного разряда с использованием коэффициентов подобия.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы:

В работе представлены результаты по трем взаимодополняющим направлениям исследований высотных разрядов, 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 высотного разряда, 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. 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. Моделирование на экспериментальном стенде «Спрайт» показало возможность инициации в лабораторных условиях разрядов в градиенте давления в импульсном режиме, которые по параметрам подобия в значительной мере повторяют высотные разряды, что в совокупности с разносторонней диагностикой позволит более глубоко разобраться в особенностях инициации и динамики развития спрайтов и других типов разрядов.

Положения, выносимые на защиту

- Развитая радиально-симметричная самосогласованная плазмохимическая модель спрайта позволяет связать процессы переноса заряда в молниевом разряде облако-земля в тропосфере с разрядными явлениями в мезосфере в дневных и ночных условиях, сопровождающимися возмущением химического баланса и проводимости. Уменьшение проводимости на начальной стадии разряда способствует инициации спрайта, а последующее увеличение приводит к вытеснению электрического поля и формированию торообразной структуры разряда.
- Развитие спрайта в ночных условиях при ИДМ=720 Кл·км приводит к увеличению концентрации заряженных частиц до 2 порядков и интенсивному излучению в первой и второй положительных полосах молекулярного азота.
- Время релаксации возмущения концентрации электронов после ночного спрайта изменяется с высотой от нескольких секунд на 75 км до 1000 с на 82 км, а 10 радиус возмущения концентрации электронов растет с 10 км на высоте 75 км до 40 км на 79 км.
- Инициация спрайта/гало в дневных условиях возможна при ИДМ 3750/2750 Кл·км. Характерная высота инициации разрядов определяется проводимостью атмосферы и смещена вниз на 20 км относительно ночных условий.

- Развитая модель для расчета глобального распределения спрайтов по данным сети грозопеленгации WWLLN позволяет получить региональное и сезонное распределение разрядов с существенно более высоким разрешением, чем с использованием спутниковых и других видов наблюдений.
- Среднее количество спрайтов, рассчитанных по данным WWLLN, составляет 870 разрядов в день, из них 0,93% отрицательных, при этом наблюдается значительная сезонная изменчивость от 625 в октябре до 1255 в мае.
- Рассчитанное по предложенной модели количество спрайтов над сушей и океаном в 2016 году распределено неравномерно: с января по апрель примерно совпадает, а с мая по декабрь количество разрядов над океаном выше на 20% и более, что приводит к среднему за год распределению суша/океан 41,4/58,6%.
- Экспериментальный стенд «Спрайт» в режиме импульсного напуска воздуха позволяет реализовать перепад давления до 100 раз на межэлектродном промежутке 80 см при сохранении дозвукового режима распространения фронта давления.
- Полученный в результате лабораторного моделирования разряд в градиенте давления по параметрам подобия для приведенного электрического поля, концентрации электронов, плотности тока, размера филамент соответствует спрайту.

Вопросы и замечания:

- Известно, что химический состав озоносферы чувствителен к вариациям солнечной активности (например, вариациям УФ радиации). Что можно сказать о влиянии изменений потоков ультрафиолетовой солнечной радиации на количество спрайтов в различных широтных зонах при анализе долгопериодной изменчивости исследуемых процессов.
- Продолжая вопрос, была замечена чувствительность явлений, которые исследовал автор, к корпускулярной активности Солнца в высоких широтах обоих полушарий Земли, например, в периоды протонных вспышек на Солнце.
- Каков ответ на вопрос о влиянии суточного хода на процессы, связанные с образованием спрайтов.
- Можно ли созданную автором численную модель использовать для воспроизведения долговременных изменений при заданных источниках возмущений, в том числе метеорологического характера.
- Какова причина сезонной изменчивости процессов, обусловленных джетами и спрайтами.
- Каковы перспективы (новые задачи) созданной уникальной установки «Спрайт».

Впрочем, высказанные вопросы и замечания не снижают научной и прикладной ценности данной работы.

Общая характеристика диссертации и заключение

Диссертация **Евтушенко Андрея Александровича** – объемное, законченное и уникальное исследование в одной из самых динамично развивающихся областей физики атмосферы, тесно соприкасающееся с различными направлениями атмосферной химии.

Работа не свободна от недостатков, выражающихся, в первую очередь, в некоторой разнородности представленного материала, что, вероятно, отражает личные научные интересы и особенности карьеры автора. Вместе с тем, диссертанту удалось, на мой взгляд, связать весь представленный материал в единую логическую цепочку.

Результаты автора признаны в мире, разработанные им методы находят свое применение, как в фундаментальных атмосферных исследованиях, так и в практических разработках.

Считаю, что представленная диссертация полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК, а ее автор, Евтушенко Андрей Александрович, заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.18 – науки об атмосфере и климате.

Дата 19.09.2023

Подпись

/ Криволицкий Алексей Александрович

Контактные данные:

тел.: +7(909)6879819, e-mail: krivolutsky@mail.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 25.00.29 – «физика атмосферы и гидросферы»

Адрес места работы:

141700, г. Долгопрудный, Московской области, ул. Первомайская, д. 3.

Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение «Центральная аэрологическая обсерватория»

тел.: +7(909)6879819, e-mail: krivolutsky@mail.ru

Подпись А.А. Криволицкого заверяю

И.о. директора ФГБУ «ЦАО»



А.С. Вязанкин