

## **Отзыв официального оппонента**

Голубева Сергея Владимировича

на диссертацию Александра Юльевича Костинского

**"Плазменные структуры и объемные сети каналов, как составляющие последовательного механизма инициации молнии в грозовых облаках",**

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

Диссертационная работа А.Ю.Костинского посвящена исследованию актуальной и весьма сложной проблемы инициации молниевых разрядов в грозовых облаках на базе крупномасштабных лабораторных экспериментов. Исследования проводились с использованием уникальных экспериментальных стендов генераторов импульсных сверхвысоких напряжений ГИН-6 МВ и искусственного заряженного облака водного аэрозоля, оригинальных методов диагностики, включая высокоскоростные инфракрасные камеры, камеры среднего ИК-диапазона с усилением изображения, микроволновую диагностику разрядов. Наиболее важные результаты связаны с первыми наблюдениями внутри заряженных облаков аэрозоля новых классов высокопроводящих плазменных каналов и их сетей («необычные плазменные образования»), разрядов, инициированных протяженными проводящими объектами в электрическом поле аэрозольного облака. Данные исследования позволили предложить механизм инициации молниевых разрядов на основе гипотезы о существовании компактных внутриоблачных разрядных образований.

Экспериментальные результаты получены с использованием дублирующих диагностических методов, обладают высокой степенью достоверности и являются обоснованными, что подтверждено публикациями

в ведущих мировых и российских научных журналах по данной тематике исследований (Geophysical Research Letters, Journal of Geophysical Research, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Radiophysics and Quantum Electronics (Известия вузов. Радиофизика)), а также докладами на ведущих мировых конференциях и семинарах в ведущих научных учреждениях. По теме диссертации опубликовано 11 статей в ведущих рецензируемых российских и зарубежных научных журналах, результаты докладывались на конференциях и совещаниях различного уровня (20 докладов). Использование уникальных установок и современных методов диагностики позволили получить ряд важных оригинальных результатов, предложить новые механизмы инициации молний в грозовых облаках. Разработанные в диссертационной работе диагностические методы могут использоваться для исследований других аэрозольных заряженных сред. В целом диссертация представляется законченной научной работой, выполненной на высоком уровне. Результаты работы несомненно имеют и практическую ценность, поскольку понимание механизмов инициации молний позволяет предсказывать опасные разрядные явления.

Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения и списка цитированной литературы. Общий объём диссертации составляет 526 страниц и включает 207 рисунков.

Во введении к диссертации сделан подробный обзор проблемы инициации молниевых разрядов, обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цели и решаемые задачи диссертации, изложены основные положения, выносимые на защиту, и пояснена их научная и практическая значимость, приведена структура диссертационной работы, методология и методы исследований, степень достоверности и апробация результатов диссертации.

Первая глава посвящена детальному описанию экспериментальной установки и обсуждению, обнаруженных в экспериментах необычных плазменных образований, представляющих собой сети плазменных каналов в облаках искусственно заряженных капель водного аэрозоля и их влиянию на инициирование молнии в грозовых облаках. Эти образования - сети взаимодействующих каналов, реализующихся на разных стадиях развития лабораторных экспериментов, могут являться одним из звеньев в процессе инициирования молнии внутри реальных грозовых облаков.

Вторая глава посвящена исследованию механизмов инициации необычных плазменных образований, которые образуются внутри положительного стримера за счет развития ионизационных неустойчивостей холодной плазмы в допробойном поле. В результате внутри облака могли появляться нагретые плазменные каналы – необычные плазменные образования. Эти плазменные образования были обнаружены внутри облака с использованием ИК-камер, регистрирующих излучение в диапазоне 3-6 мкм.

В третьей главе диссертации описаны эксперименты по наблюдению взаимодействия положительных и отрицательных лидеров электрических разрядов, генерируемых в облаках отрицательно заряженного водного аэрозоля. Впервые получены снимки сквозной фазы лидеров, на которых видно значительное ветвление лидеров перед их встречей внутри общей стримерной зоны. Полученные результаты сравниваются с результатами предыдущих исследований в аэрозольном заряженном облаке и с исследованиями контакта лидеров в длинной искре, созданной генераторами импульсных сверхвысоких напряжений.

В четвёртой главе описаны, проведенные с использованием высокоскоростных ИК-камер экспериментальные исследования развития необычных плазменных образований в электрическом поле облака положительно заряженного аэрозоля. Обнаружена разветвлённая сеть тонких

плазменных каналов (и сетей каналов) разной формы, яркости и длины, пронизывающая почти весь наблюдаемый в ИК-диапазоне объём облака.

Пятая глава диссертации посвящена описанию лабораторного моделирования высотно-инициированных триггерных молний, а также молний, инициированных ракетой с заземленным проводом (триггерных молний). В этих экспериментах в заряженное аэрозольное облако из арбалета выпускался болт (моделирующий летательный аппарат) или болт с заземленным проводом, моделирующий триггерную молнию. С помощью высокоскоростной ИК-камеры исследованы динамика восходящего к хвосту болта положительного лидера и инициация положительного лидера с кончика болта. В частности, получены параметры токов стримерных вспышек восходящих положительных лидеров. В экспериментах также зарегистрировано существование «необычных плазменных образований», которые, по-прежнему, представляют собой сети каналов.

В 6 главе диссертации приведены экспериментальные исследования ступенчатого развития отрицательного и положительного лидера, выполненные с использованием генератора импульсных сверхвысоких напряжений ГИН-6 МВ. В этих экспериментах подробным образом исследован ступенчатый положительный лидер, который до настоящего времени сравнительно мало изучен, проведено сравнение с хорошо известным ступенчатым развитием отрицательного лидера. В экспериментах наблюдались как квазинепрерывный (оптически непрерывный, «обычный»), так и ступенчатый режимы распространения положительного лидера с длиной ступени в десятки сантиметров, при этом морфология вспышки стримерной короны была аналогичной наблюдаемой у отрицательных лидеров, развивающихся в чистом воздухе. Впервые перед каналом положительного лидера удалось зафиксировать плазменные образования, сходные со спейс-стемами или спейс-лидерами в длинной отрицательной искре.

В главе 7 на основании полученных в диссертации данных и экспериментальных результатов последних лет предлагается новый механизм инициации молнии, основную роль в котором играют, возникающие за счет взаимодействия широких атмосферных ливней с допробойным полем облака мелкомасштабные плазменные образования, которые при своем развитии и взаимодействии обеспечивают локальные пробои, в результате которых стартует отрицательный лидер молнии.

Восьмая глава посвящена обсуждению возможности возникновения инициированных широким атмосферным ливнем множества синхронизированных локальных вспышек, которые объясняют наблюдаемые характеристики радиоизлучения грозовых облаков.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

По диссертационной работе имеется ряд замечаний.

1. Одним из основных результатов диссертационной работы является утверждение, что характеристики разряда молнии определяются во многом процессами, протекающими в заряженном облаке и инициирующими разряд. Представляется целесообразным сравнить параметры такого разряда с разрядом между проводящим шаром с размерами, сравнимыми с заряженным облаком и землей.
2. Диссертация Костинского А.Ю. написана грамотно, материалы многочисленных экспериментов интересны и оригинальны, однако стиль изложения материала зачастую излишне подробный, что несколько затрудняет понимание.

Несмотря на указанные замечания, диссертация является законченной научно-квалификационной работой, представляет собой крупное научное достижение, направленное на развитие представлений об инициации



молниевых разрядов грозовых облаков. Автореферат полностью отражает содержание диссертации и включает основные ее положения.

Работа соответствует специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Считаю, что диссертационная работа А.Ю.Костинского удовлетворяет требованиям положения, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 с дополнениями от 21 апреля 2016 год № 335, а ее автор, Александр Юльевич Костинский, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук, профессор, научный руководитель направления «Физика плазмы» ИПФ РАН.

Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации.



Голубев Сергей Владимирович.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН)

Адрес: 603950, г. Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46

Тел:+7(831) 436-62-02, e-mail: dir@ipfran.ru

Подпись Голубева С. В. заверяю

Ученый секретарь ИРФ РАН

к.ф.-м.н.



И.В. Корюкин