

## ОТЗЫВ

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

Рецензируемая диссертация А.Ю. Костинского представляет собой законченную научную работу, выполненную в направлении исследований электрических грозовых разрядов на базе проведения лабораторных крупномасштабных экспериментов. Увеличение масштабов исследуемых процессов вместе с использованием новых методов и современной измерительной техники позволили получить ряд принципиальных результатов, уточняющих механизмы инициации молний в грозовых облаках и представляющих собой новое крупное научное достижение в развитии проблем инициации молниевых разрядов.

Результаты работы имеют широкую апробацию: всего по теме диссертации опубликовано 11 статей в ведущих рецензируемых российских и зарубежных научных журналах, многократно (20 докладов) докладывались на конференциях и совещаниях различного уровня и полностью отражают тематику диссертации.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и включает основные ее положения.

Тема работы соответствует специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

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

Во введении к диссертации сделан подробный обзор проблемы инициации молнии и компактных внутриоблачных разрядов, а также иницирующего

молнию события, начального изменения электрического поля и начальных импульсов пробоя. Также сформулированы цели и решаемые задачи диссертации, изложены основные положения, выносимые на защиту, и пояснена их научная и практическая значимости.

Первая глава посвящена открытию нового класса электрических разрядов в облаках искусственно заряженных капель водного аэрозоля и последствиям их открытия для инициирования молнии в грозовых облаках. Детально описана экспериментальная установка и приведены результаты экспериментов. В частности, показано, что впервые обнаруженные необычные плазменные образования представляют собой иерархические сети плазменных каналов, и что морфология этих образований принципиально отличается от морфологии всех ранее открытых разрядных каналов в квазипостоянных электрических полях.

Вторая глава посвящена инициации необычных плазменных образований внутри положительной стримерной вспышки, поддерживаемой электрическим полем отрицательно заряженного облака водного аэрозоля. Использование современной высокоскоростной аппаратуры ИК диапазона позволило автору провести сравнения радиационных потоков, исходящих от необычных плазменных образований и от канала восходящего положительного лидера, которые показали, что яркостные температуры некоторых необычных плазменных образований соизмеримы с температурами лидера.

Третья глава диссертации посвящена наблюдениям взаимодействия положительных и отрицательных лидеров в электрических разрядах метрового масштаба, генерируемых электрическими полями облаков отрицательно заряженного водного аэрозоля. В главе представлены наблюдения с помощью высокоскоростных видеокамер, а также синхронизированные записи тока при контакте между положительными и отрицательными лидерами в электрических разрядах, генерируемых облаками отрицательно заряженного водного аэрозоля, а также обсуждаются их возможные последствия для понимания процесса сквозной фазы молнии.

В главе 4 исследовались плазменные образования, включая двунаправленные лидеры, инициированные в электрическом поле положительно заряженного водного аэрозоля, обнаруженные внутри облака, благодаря использованию высокоскоростных ИК-камер. Установлено, что кроме основного восходящего отрицательного плазменного канала, каждому разряду сопутствует разветвлённая сеть более тонких плазменных каналов (и сетей каналов) разной формы, яркости и длины, принизывающая почти весь наблюдаемый в ИК-диапазоне объём облака. Эти каналы могут развиваться параллельно отрицательному лидерному каналу или почти перпендикулярно ему. Некоторые из слабых каналов могут быть интерпретированы как необычно длинные и яркие отрицательные стримеры, в то время как другие (особенно показывающие сложную морфологию и те, которые явно не связаны с восходящим отрицательным лидером) могут быть похожи на упомянутые ранее необычные плазменные образования.

В главе 5 диссертации обсуждаются вопросы моделирования в лабораторных экспериментах высотно-инициированных триггерных (altitude-triggered) молний и классических триггерных (classical-triggered) молний в электрическом поле отрицательно и положительно заряженного облака заряженного водного аэрозоля. На крупномасштабном лабораторном стенде проведен цикл экспериментов, продемонстрировавших схожесть разрядных явлений, инициированных болтом арбалета, внедренным в поле искусственного облака заряженного аэрозоля, с явлениями при высотно-инициированной молнии в природных условиях, а также триггерной молнии в поле грозового облака.

В главе 6 диссертации рассматриваются эксперименты, выполненные с использованием генераторов импульсных напряжений (ГИН), с целью исследований ступенчатого развития отрицательного и положительного лидера, приводящего к мощной вспышке стримерной короны. В этом исследовании наблюдались как квазинепрерывный (оптически непрерывный, «обычный»), так и ступенчатый режимы распространения, проявляемые разными ветвями одного

и того же положительного лидера. Положительные лидеры демонстрировали ступенчатость развития ступенями длиной в десятки сантиметров, при этом морфология вспышки стримерной короны была аналогичной наблюдаемой у отрицательных лидеров, развивающихся в чистом воздухе. Сравнения с характеристиками положительных и отрицательных лидеров, наблюдаемых при развитии молнии, показало, что для любой полярности ступени длинных искр качественно похожи на ступени молнии.

В главе 7 на основании экспериментальных результатов последних лет, проведено обсуждение возможного механизма инициации молнии.

В главе 8 производится оценка динамики инициирования стримерных вспышек, обеспечивающих пространственно-временной профиль и скорость распространения фазовой волны максимальных VHF-сигналов при развитии компактных внутри облачных разрядов

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Оценивая диссертацию в целом положительно, необходимо отметить некоторые имеющиеся недостатки:

1. объем текста диссертации во многом неоправданно большой, что при анализе некоторых глав заставляет много времени тратить на поиск ключевых положений; в частности, главы: 3, 4, 5, 6 и 7 кроме общего введения имеют еще дополнительные введения к каждой главе;
2. глава 7 перегружена описательными характеристиками, чего можно было бы избежать, прибегнув к использованию аналитических зависимостей;
3. результаты, полученные в гл. 5 и 6 представляют собой не моделирование в общепринятом понимании, при котором существует возможность переноса количественных данных, полученных в лаборатории, на натурные условия, а лишь достаточное основание для разработки методов моделирования с поиском соответствующих критериев подобия.

И более частные замечания:

- в тексте диссертации часто встречается размерность напряженности электрического поля – [кВ/(м·атм)] (например, "в электрическом поле  $E > 218$  кВ/(м·атм)" стр. 374), что является некорректным, так как такой размерности напряженности электрического поля не существует ни в одной системе единиц;

- вызывает удивление использования слова "прекурсор" (в основном, глава 5), являющегося непонятным производным английского слова *precursor*, имеющем вполне внятный и широко используемый в физической среде перевод на русский язык - "предвестник";

- наблюдаются не совсем точные ссылки на содержание цитируемого первоисточника, например, стр. 372, 396 и др.

Однако, сделанные замечания не снижают общей высокой ценности диссертации. Диссертация соответствует требованиям Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Александр Юльевич Костинский, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

Москва, 119146, Фрунзенская набережная, дом 36, кв. 166  
тел. +7 (903) 744-9959  
e-mail: [zetzter@idg.chph.ras.ru](mailto:zetzter@idg.chph.ras.ru)

Я даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.  
Научный руководитель ФГБУН Институт динамики геосфер РАН имени академика М.А. Садовского, доктор физико-математических наук, профессор

Зецер Юлий Израилович,

28 января 2022 года

Подпись Ю.И. Зецера удостоверяю,  
Начальник отдела кадров ИДГ РАН,  
С.В. Борисова



## Список избранных научных трудов за последние 5 лет

Zetser J.I., Poklad Y.V., Erlandson, R.E. Active Experiments in the Ionosphere at Altitudes of 140–360 km. Optical Observations Results Reanalysis // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* v. 57, pp. 745–760 (2021).

Lyakhov, A.N., B.G. Gavrilov, J.I. Zetser, Y.V. Poklad, I.A. Ryakhovskij, E.S. Goncharov. Frontiers in the D-region physics // 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, Proceedings of SPIE, v.11208, # 112088Y, (2019).

Gavrilov B.G., Lyakhov A.N., Poklad Y.V., Ryakhovskii I.A., Zetser Y.I. Correlated Disturbances of the Upper and Lower Ionosphere from Synchronous Measurements of Parameters of GNSS Signals and VLF Radio Signals // *Cosmic Research*. (2019), v. 57 (1), pp. 36-43, DOI: 10.1134/S0010952519010039.

Kovalev, A. T., I. Kh. Kovaleva, A. N. Lyahov, J. I. Zetser. Electron fluxes causing atmosphere air glow during the polar active "North Star" ionospheric experiment // *Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, Proceedings of SPIE*, v.11208, # 1120898, (2019).

Gavrilov, B. G., Zetser, Yu. I., Poklad, Yu. V., Ryakhovskii, I. A., Lyakhov, A. N., Rybakov, V. A., Ermak, V. M. Investigation of The Atmosphere and Ionosphere by The Radiophysical Measuring Complex of the "Mikhnevo" Geophysical Observatory // *Russian Open Conference on Radio Wave Propagation (RWP)*, v. 1, pp. 171-174 (2019)

Andrey N. Lyakhov, Julia A. Korsunskaya, Yuri V. Poklad, Boris G. Gavrilov, Ilya A. Ryakhovsky, Julius I. Zetser, Tatiana V. Losseva, M. A. Bisyarin, V. V. Kirillov, A. B. Orlov, A. E. Pronin. The numerical simulation of the 2017 September solar X-flares impact on the midlatitude lower ionosphere // *Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, Proceedings of SPIE*, v.10833, # UNSP 108339M, (2018), DOI:10.1117/12.2504292.

Poklad, Yu. V., Gavrilov, B. G., Zetser, J. I., Kovalev, A. T., Rybakov, V. A. Trigger effect of the afterglow background medium after injection of the high speed

plasma jet in the Fluxus and North Star experiments // Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, Proceedings of SPIE, v.10833, # UNSP 108339H, (2018).

Gavrilov, B. G., Zetser, Yu. I., Lyakhov, A. N., Poklad, Yu. V., Ryakhovskii, I. A. Spatiotemporal distributions of the electron density in the ionosphere by records of the total electron content and phase of VLF radio signals // Geomagnetism and Aeronomy, Volume 57, Issue 4, pp.461-470, (2017), DOI: 10.1134/S0016793217040065