

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ
на диссертацию Екатерины Константиновны Свечниковой
"Высокоэнергичные события в атмосфере и их связь с электрической структурой облака",
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.03 - радиофизика

Работа Е.К. Свечниковой посвящена изучению высокоэнергичного излучения электрифицированных облаков. Рассмотрены явления двух типов: гамма-вспышки земного происхождения (terrestrial gamma-ray flash, TGF) и недавно открытое явление приземных грозových увеличений потока энергичных частиц (thunderstorm ground enhancement, TGE). Оба феномена относятся к очень активно развивающимся направлениям атмосферной физики. Основное внимание в работе уделено TGE, наблюдаемым на Исследовательской Станции Арагац, которая отличается уникальным высокогорным расположением и наличием обширного комплекса измерительной аппаратуры. Целью работы является определение условий и механизма генерации гамма-излучения электрически активных облаков. Решение поставленных задач осуществлено с применением аналитического и численного моделирования. Наиболее важные результаты работы состоят в следующем.

1. Осуществлено численное моделирование (с помощью модели WRF) конвективных явлений, при которых наблюдаются нисходящие потоки гамма-излучения. Для обеспечения достоверности моделирования проведено исследование влияния параметров моделирования на степень соответствия его результатов данным измерений. Степень соответствия охарактеризована количественно благодаря разработанной методике верификации моделирования с применением данных метеорологического радара. Особенно подробно изучено влияние на результаты моделирования выбора микрофизической параметризации и способа описания влияния аэрозольных частиц.

2. Разработана методика оценки электрической структуры облака по результатам приземных измерений электрического поля, с применением моделирования состояния атмосферы. Предложенная методика подходит для обработки результатов моделирования при разных параметрах, включая пространственный масштаб и микрофизическую схему. Методика позволяет наглядно описать связь метеорологических и электрических характеристик конвективного явления.

3. С помощью осуществлённого моделирования состояния атмосферы и с применением разработанной методики оценки электрической структуры облака определены характерные физические (метеорологические и электрические) свойства создающих TGE облаков. Сделан вывод о важности присутствия частиц снежной крупы и снега для формирования облаков, демонстрирующих интенсивные события TGE. Показано, что для таких облаков характерна двуслойная зарядовая структура: нижний положительно заряженный слой, состоящий из частиц снежной крупы, и верхний отрицательно заряженный слой из частиц снега.

4. Разработана аналитическая модель развития потоков энергичных частиц в электрически активных облаках в рамках модели лавин релятивистских убегающих электронов с релятивистской обратной связью. На основе предложенной аналитической модели разработана методика оценки электрической структуры облака на основе результатов приземных измерений напряжённости электрического поля и потока энергичных частиц. Сопоставление результатов применения двух предложенных методик оценки электрической структуры облака показывает их качественное согласие и позволяет сделать вывод о существенности неоднородности распределения электрического поля для описания динамики лавин релятивистских убегающих электронов.

Всё перечисленное для рассматриваемого круга явлений сделано впервые. Полученные сведения об облаках, создающих нисходящие потоки гамма-квантов, сопоставлены с результатами исследований ближайшего аналога изучаемого явления - TGF. Сравнение свойств облаков, создающих TGE и TGF, позволяет сделать предварительные выводы о различии условий, благоприятных для развития обоих феноменов.

Е.К. Свечникова начала учебно-исследовательскую работу в лаборатории атмосферного электричества отдела геофизической электродинамики ИПФ РАН в 2015 году в рамках подготовки дипломной работы "Условия инициации разряда молнии с учётом генерации энергичных частиц" на соискание степени магистра физики на факультете "Высшая школа общей и прикладной физики" ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Следуя существующей на факультете

ВШОПФ практике смены направления научной деятельности, после получения степени магистра в 2016 году Е.К. Свечникова перешла в отдел физики сверхпроводников ИФМ РАН, после чего в 2017 году была принята в аспирантуру Института прикладной физики РАН по специальности 01.04.03 – радиопизика, возобновив работу в лаборатории атмосферного электричества и продолжая исследования по тематике настоящей диссертации. Использование методов и подходов, которыми Е.К. Свечникова овладела в ходе работы, включая навыки аналитического исследования и численного моделирования, оказалось эффективным при решении задач атмосферного электричества.

Достоверность результатов, полученных в ходе работы над диссертацией, подтверждается согласием с собственными выводами, полученными независимыми методами, а также согласием с результатами других исследователей. Для обеспечения достоверности результатов численного моделирования выполнено сравнение с данными наземных измерений, а также разработана и применена методика верификации моделирования с использованием результатов измерения радиолокационной отражаемости. Достоверность полученной оценки электрической структуры создающих TGE облаков показана путём сравнения с известными свойствами облаков, создающих TGF, а также со значениями, найденными другими исследователями в лабораторном моделировании. Кроме того, о корректности оценки распределения заряда свидетельствует согласие результатов, полученных с помощью двух разработанных методик, имеющих в основе численное и аналитическое моделирование.

Полученные в работе Е.К. Свечниковой результаты, на мой взгляд, имеют высокую теоретическую и практическую значимость. Исследования, проведенные Е.К. Свечниковой, необходимы для корректного описания развития электронных лавин и создаваемых ими потоков энергичного излучения. Разработанная методика верификации моделирования и полученные с её помощью выводы об условиях достоверности моделирования конвективных явлений в высокогорном регионе представляют ценность для широкого круга задач численного моделирования облачности. Полученные оценки распределения водных частиц и заряда в создающих TGE облаках характеризуют условия развития лавин релятивистских убегающих электронов. Разработанное аналитическое описание динамики электронных лавин позволило проанализировать вклад каждого из процессов взаимодействия частиц в результирующее развитие лавин, а также привело к получению оценки их влияния на физические условия в облаке. Междисциплинарные исследования, проведённые в данной работе, и их результаты полностью соответствуют специальности 01.04.03 - радиопизика.

Материалы диссертации Е.К. Свечниковой опубликованы в ведущих рецензируемых журналах по направлению исследований, неоднократно представлялись на конференциях и получили признание научной общественности. За время работы по данной тематике Е.К.Свечникова проявила себя как разносторонний исследователь и квалифицированный специалист в области физики атмосферы и атмосферного электричества, показала высокий уровень профессиональных качеств, способность самостоятельно вести научно-исследовательскую работу, владение современными методами и технологиями исследований. Работа Е.К. Свечниковой была отмечена дипломом Конкурса молодых ученых ИПФ РАН. На мой взгляд, Е.К. Свечникова заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - радиопизика.

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

Заместитель директора по научной работе ИПФ РАН,
заведующий отделом геофизической электродинамики,
член-корреспондент РАН,
доктор физико-математических наук
e-mail: mareev@ipfran.ru
7+(831)4367690



Е.А. Мареев

21.05.2021.