

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Сергеева Виктора Андреевича на диссертацию в виде научного доклада Мироновой Ирины Александровны на тему: «Воздействие энергичных частиц на атмосферу Земли», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Диссертация Мироновой Ирины Александровны охватывает широкий круг последствий в земной атмосфере, связанных с ионизацией нейтральных газов в верхней и средней атмосфере под воздействием вторжений заряженных частиц разной природы в широком диапазоне энергии от кэВ до многих ГэВ.

Роль энергичных частиц в изменениях атмосферы до сих пор остается малоизученной из-за неопределенностей в скоростях ионизации атмосферы, вызываемых выпадающими частицами. Скачок в изучении процессов в цепочке солнечно-земных связей стал возможен благодаря прогрессу химико-климатических моделей, позволяющих учитывать солнечные влияния через изменения скорости ионизации атмосферы и изучать их воздействия на озон и локальный климат Земли.

Чтобы исследовать эту вопрос нужно, во-первых, получить информацию о корпускулярных спектрах и рассчитать для них скорости ионизации на разных высотах, а во-вторых, провести и проанализировать химико-климатические расчеты. Эти шаги осуществлены в предлагаемой диссертации, в которой исследованы атмосферные эффекты ионизации возбуждаемой источниками частиц разной природы, включая галактические космические лучи, протоны генерируемые при эруптивных процессах на Солнце, а также выпадения энергичных электронов (ЭЭ) из радиационных поясов магнитосферы Земли.

Среди многообразия атмосферных последствий в диссертации, в частности, затронуты актуальные аспекты воздействия выпадений ЭЭ на разрушение полярного стратосферного озона (в зависимости от интенсивности геомагнитных возмущений и сезонов); влияния солнечных протонных событий типа GLE (Ground Level Enhancement) на формирование полярного стратосферного аэрозоля; расчетов параметров электрической цепи под воздействием выпадений энергичных частиц; оценки степени воздействия Форбуш-понижений галактических космических лучей, а также электромагнитного излучения солнечных вспышек на химический состав высокоширотной атмосферы и озон. Наряду с реальными воздействиями, модельные расчеты и оценки сделаны также в нескольких случаях для возможных гипотетических катастрофических событий корпускулярных вторжений.

В целом, можно согласиться, что эти исследования решают актуальную научную и прикладную задачу, и что представленный цикл работ формирует новое направление исследований: «Скорости ионизации атмосферы как основное звено в цепочке солнечно-земных связей, необходимое для изучения воздействия космической погоды и солнечной активности на атмосферу Земли».

Многообразие, разноплановость и обилие затронутых вопросов на стыке дисциплин (космической плазмы и атмосферы) из-за неравноценности частей и полученных в них выводов создает трудность при оценке работы. Трудности усугубляются неудачно

составленным докладом, который чрезмерно краток (13с основного текста), сделан в спешке, содержит неточности и вызывает много вопросов, некоторые из которых перечислены ниже.

1). По количеству включенных работ и значению, одним из главных является раздел о воздействии высыпаний энергичных электронов (результат 2). Исходным его пунктом, вызывающим споры и напряжение в научном сообществе является модель высыпаний ЭЭ. В работе этот болезненный вопрос совсем незаметен (нет ни проблем калибровки, коррекции энергий и питч-углов, ни верификации данных спутников POES и пр), он не упоминается ни в докладе, ни в публикации А1. Насколько я понял из публикаций, вопрос селекции данных для модели решается отбрасыванием всех (многочисленных) данных, когда в канале Р6 (0.7 МэВ электроны) в 2003г. нет заметных скоростей счета, в т.ч. удаляются ситуации с большими потоками в каналах 100 и 300кэВ. Такая произвольная селекция данных для модели не обоснована, величины потоков в модели высыпаний не сравниваются с предыдущими работами и не исследуются. Модель параметризована только индексами активности, пространственная вариация высыпаний не описана.

- На деле, использование критерия Р6 отбирает искусственно ситуации измерений на изотропной границе высыпаний 0.7 МэВ электронов (см. работы группы Яхнина в JGR: Space Physics 2016, 2017гг, а также недавнюю статистику Chen et al., JGR 2023, e2023JA031566). Только для этого (весьма малого) поднабора данных характерна относительно высокая корреляция с Ар и Кр индексами, обусловленная статистической корреляцией индексов с интенсивностью хвостового тока. Этот поднабор не является репрезентативным для представления всех вариаций спектра ЭЭ в авроральной зоне, как и средней зависимости высыпаний от магнитной активности.

- Примененный подход к параметризации высыпаний ЭЭ как-то отражает изменения интенсивности ЭЭ в радиационном поясе и полученная параметризация может быть использована для иллюстративных целей качественной оценки воздействия высыпаний на разрушение озона, как это сделано в работе А1. Но это не закрывает вопрос о необходимости построения модели высыпаний ЭЭ.

2). В ряде случаев формулируются некоторые частные результаты работы, смысл которых мне непонятен, а подтверждения которым мне не удалось обнаружить

-Положение №1 (с. 7, 14): «Численные расчеты скоростей ионизации атмосферы под воздействием высыпаний в ионосферу энергичных электронов, ... демонстрируют сильную вариабельность и строгую зависимость от геомагнитных возмущений на разных высотах атмосферы от 120 до 25 км». Тут 2 взаимоисключающих понятия стоят рядом, без должных разъяснений. На самом деле, на разных высотах все происходит по разному, сильная зависимость от активности редко где непосредственно проявляется, редко когда реализуется когерентно на всех высотах. Что же такое «строгая зависимость» ?

-Положение №2(с. 8, 14): «Получена линейная зависимость максимального истощения мезосферного озона в разные сезоны в зависимости от скоростей ионизации». Зависимость или зависимости? В оригинальной работе А1 я не обнаружил полученной линейной зависимости (зависимостей).

3). Доклад сделан в спешке, автор допускает немалое количество неточных и невыверенных утверждений. Из наиболее досадных приведем утверждение во вводной части (стр.3) о том, что «источником менее энергичных частиц является Солнечный ветер, состоящий в основном из электронов» (!? - плазма, как известно, квазинейтральна).

4). Доклад составлен крайне формально, так, будто кроме работ автора в рассматриваемой научной области более ничего не происходит: нет трудных проблем, нет конкурентов над ними работающих и сопоставления с их результатами, нет разных подходов и столкновения точек зрения, нет описания состояния дел до и после работ автора. Надеюсь, что в какой-то степени это будет прояснено на защите, где будет также достаточно освещен личный вклад автора в развитие «технологии расчета скоростей ионизации» (см. стр.7, 14) и где будет упомянуто – сыграли ли принципиальную роль при решении каких-то проблем отличительные особенности разработанного автором метода расчета ионизации.

В целом, работа объемистая, представляет результаты 47 статей опубликованных в рецензируемых научных изданиях, она формирует картину влияний высыпаний энергичных частиц в атмосферу, в которой однако еще есть еще немало белых пятен. Учитывая все это, а также достижения автора в научно-организационной деятельности и активную работу со студентами, считаю что

диссертация в виде научного доклада Мироновой Ирины Александровны на тему: «Воздействие энергичных частиц на атмосферу Земли» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете». В случае успешной защиты соискатель Миронова Ирина Александровна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета

Доктор физико-математических наук, профессор,

профессор кафедры физики Земли Физического факультета СПбГУ

Сергеев Виктор Андреевич

11.12.2023