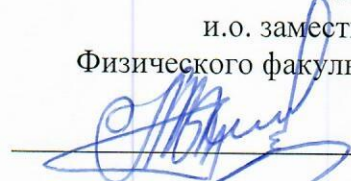


УТВЕРЖДАЮ:
и.о. заместителя декана
Физического факультета СПбГУ


/А.В.Титов/
«16» 08 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия на тему «**Воздействие энергичных частиц на атмосферу Земли**» выполнена на кафедре физики Земли физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета. В период подготовки диссертации соискатель **Миронова Ирина Александровна** работала в должности старшего научного сотрудника кафедры физики Земли физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.

Ирина Александровна Миронова в 1994 году окончила бакалавриат физического факультета СПбГУ, в 1997 г. завершила обучение в магистратуре физического факультета СПбГУ по направлению «Физика», в 2005 году в СПбГУ защитила кандидатскую диссертацию по специальности 01.03.03 Физика Солнца.

Диссертационная работа Мироновой И.А. направлена на

- проведение численных модельных исследований распространения протонов во время эруптивных солнечных протонных событий и вариаций потоков галактических космических лучей, а также энергичных электронов магнитосферного происхождения в атмосфере Земли;
- изучение атмосферных эффектов (с помощью химико-климатических моделей различного уровня сложности и анализа данных со спутников), вызванных высыпаниями протонов и энергичных электронов, с целью получения оценок вариаций химического состава полярной атмосферы, степени разрушения мезосферного и стратосферного озона, влияния высыпаний на аэрозоли и глобальную электрическую цепь, а также изучение механизма воздействия электромагнитной радиации во время солнечных вспышек класса X на содержание озона в атмосфере.

Диссертация И. А. Мироновой является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком современном уровне.

Диссертация Мироновой И.А. содержит ряд новых важных результатов в области физики солнечно-земных связей, связанных с изучением процессов распространения солнечных, галактических и магнитосферных энергичных частиц от Солнца до нижних слоев атмосферы Земли, вызывающих вариации скорости ионизации атмосферы во время высыпаний энергичных частиц, и, как следствие, приводящих к изменению параметров атмосферы Земли:

1. Модель высыпаний в ионосферу энергичных электронов (30 кэВ - 10 МэВ) магнитосферного происхождения, позволяющую определять скорости ионизации атмосферы с использованием спутниковых и баллонных наблюдений. Выведен критерий, по которому можно определять, при каких условиях потоки энергичных электронов дойдут до высот нижней стратосферы. Показано, что скорости ионизации атмосферы демонстрируют сильную вариабельность и строгую зависимость от геомагнитных возмущений на разных высотах атмосферы от 120 до 25 км.
2. Впервые получена линейная зависимость максимального истощения мезосферного озона в разные сезоны от скоростей ионизации атмосферы во время высыпаний энергичных электронов, которые напрямую связаны с геомагнитными возмущениями. В частности, обнаружено, что осенью и весной максимальное истощение мезосферного озона может достигать 20% во время средней и сильной геомагнитной активности. Показано, что летом в присутствии УФ-излучения полярный мезосферный озон не может быть разрушен под воздействием высыпаний энергичных электронов. Однако, в зимнее время максимальное истощение мезосферного озона может достигать 80% при сильных геомагнитных возмущениях.
3. Модель распространения в атмосфере солнечных протонов в диапазоне энергий от 10 МэВ до 100 ГэВ и соответствующего увеличения скорости ионизации атмосферы во время эруптивных солнечных протонных событий типа GLE (Ground Level Enhancement). Впервые, с использованием модельных расчетов скоростей ионизации атмосферы был исследован ряд GLE событий. Было показано, что сочетание как минимум двух факторов может привести к формированию стратосферного аэрозоля: 1) существенное, по крайней мере в два раза, увеличение скорости ионизации в полярной стратосфере и 2) зимний сезон без УФ и с низкой температурой, достаточной для образования полярных стратосферных облаков.
4. Впервые установлено, что во время Форбуш понижений галактических космических лучей концентрация радикалов оксида водорода (HOx) в зимней полярной стратосфере уменьшается в два раза, хотя устойчивый отклик в азотном семействе (NOx) и озоне не обнаруживается, как и эффект от Форбуш понижений в летнее время в южной полярной стратосфере.
5. Показано, что во время экстремальных солнечных протонных событий возросшие скорости ионизации атмосферы приводят к значительному увеличению токов хорошей погоды в глобальной электрической цепи, а величина эффектов зависит от местоположения и может превышать фоновое значение более чем в 10 раз в высоких широтах. Показано, что энергичные электроны во время геомагнитных возмущений способны модулировать резонанс Шумана в высоких широтах и влиять на глобальное электронное содержание во время геомагнитных возмущений. Вместе с тем, изучение влияния флуктуаций Ву компоненты межпланетного магнитного поля через глобальную электрическую цепь не подтвердило заметного воздействия на приземные метеорологические параметры.
6. Изучено воздействие электромагнитного излучения (альтернативного механизма, не связанного с высыпанием энергичных частиц) во время солнечных вспышек на

химический состав атмосферы и озон. Показано, что электромагнитное излучение от солнечных вспышек класса X может привести к значительному увеличению концентрации семейств оксидов азота (NO_x) в экваториальных широтах. Однако, это увеличение не влияет на изменение содержания озона в тропической стратосфере, а изменение химического состава атмосферы в полярных регионах незначительно.

Опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации. Достоверность полученных результатов обусловлена корректной постановкой задач и рядом модельных экспериментов, необходимых для получения статистически значимых результатов, тщательным анализом полученных данных в только доверительных интервалах значимости. Все основные результаты опубликованы в высокорейтинговых журналах (Space Science Reviews, Geophysical Research Letters, Journal of Geophysical Research, Atmospheric Chemistry and Physics, Science of the Total Environment, Frontiers in Earth Science, Remote Sensing). Всего опубликовано 37 статей в рецензируемых журналах по теме диссертации за 2013-2023 гг. Основные результаты диссертации докладывались на международных конференциях, причем многие из них в качестве приглашенных заказных докладов, что говорит об уровне и значимости научной работы соискателя. Миронова И.А. руководила пятью грантами РФФИ и РНФ фондов. Диссертация соответствует специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия.

Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия **«Воздействие энергичных частиц на атмосферу Земли»** Мироновой Ирины Александровны рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.


(подпись заведующего кафедрой)

Семенов Владимир Семенович
(доктор физ.-мат. наук, профессор,
зав. кафедрой физики Земли СПбГУ)

