

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ  
И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
(Росгидромет)

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ»  
(ФГБУ «АНИИ»)

ул. Беринга, д. 38, Санкт-Петербург, 199397  
Телефон: (812) 337-31-23; факс: (812) 337-32-41;  
e-mail: aaricoop@aari.ru; http://www.aari.ru  
ОКПО 02572350; ОГРН 1027800556266;  
ИНН/КПП 7801028057/780101001

29.11.2023 № 01-35-2202

На № \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Директор Арктического и антарктического  
научно-исследовательского института (АНИИ)



А. С. Макаров

“29” ноября 2023г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Арктического и антарктического научно-исследовательского института (АНИИ) на диссертацию И. А. Мироновой «Воздействие энергичных частиц на атмосферу Земли» представленную на соискание учёной степени доктора физ.-мат. наук по научной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Существование земной атмосферы определяется волновым (световым и тепловым) излучением Солнца, которое меняется очень незначительно в ходе вариаций солнечной активности. При этом энергетический вклад корпускулярной радиации оказывается пренебрежимо малым по сравнению с волновой радиацией, но именно корпускулярная радиация, варьирующая в зависимости от солнечной активности с периодичностью от суток до сотен лет, определяет условия прохождения волновой радиации через атмосферу Земли. Основными компонентами солнечного корпускулярного излучения являются: потоки низко-энергичной солнечной плазмы, излучаемой всей поверхностью Солнца (солнечный ветер), корональные выбросы плазмы и высокоскоростные потоки, связанные с активными областями на Солнце (возмущенный солнечный ветер), потоки высокоэнергичных протонов (солнечные и галактические космические лучи), а также потоки электронов и протонов магнитосферного происхождения, вторжение которых в земную атмосферу контролируется воздействием солнечного ветра.

Космические лучи солнечного и галактического происхождения и высокоэнергичные электроны магнитосферного происхождения, проникающие в атмосферу, ионизируют нейтральные молекулы азота и водорода, создавая химически активные окислы азота и водорода, которые разрушают атмосферный озон. В зависимости от энергии частиц, которая определяет глубину их проникновения, ионизация происходит на высотах от верхней мезосферы до тропосферы. Ионы, генерируемые в атмосфере под воздействием заряженных частиц, увеличивают скорость образования ядер конденсации аэрозолей, что определяет такие климатические последствия, как формирование облачности, циклоническая активность, атмосферная циркуляция. Имеющиеся экспериментальные данные свидетельствовали о влиянии корпускулярного излучения на погоду и климат, на облачность в верхнем ярусе атмосферы, на температуру полярной тропосферы, на глобальную облачность и на облачность в нижнем ярусе атмосферы. Таким образом, актуальность исследований воздействия энергичных частиц на атмосферу Земли не подлежит никакому

сомнению, особенно в свете происходящих в настоящее время глобальных климатических изменений.

В связи с недостаточным количеством и качеством прямых спутниковых измерений и, соответственно, малой изученностью процессов происходящих на разных уровнях атмосферы при корпускулярных вторжениях, в XXI веке получили большое развитие модельные методы исследований. Значительный вклад в решение этой проблемы внесли работы, выполненные И.А.Мироновой (более 40 публикаций по теме диссертации в сотрудничестве с коллегами и учениками).

Были проведены следующие исследования и даны оценки:

(1) скоростей ионизации атмосферы в ходе высыпаний энергичных частиц, связанных:

- с эруптивными солнечными протонными событиями,
- с высыпаниями энергичных электронов из магнитосферы,
- с вариациями потоков галактических космических лучей.

(2) эффектов в атмосфере под воздействием высыпаящихся энергичных частиц :

- в вариациях химического состава полярной атмосферы,
- в разрушении мезосферного и стратосферного полярного озона,
- в воздействии на глобальную электрическую цепь и на полярный стратосферный аэрозоль.

(3) проведены модельные исследования распространения моноэнергичных электронов в атмосфере Земли, численный расчет скоростей ионизации атмосферы во время событий, связанных с высыпаниями энергичных электронов, и оценка их роли в разрушении полярного озона в зависимости от интенсивности геомагнитных возмущений и сезонов.

(4) проведены модельные исследования распространения моноэнергичных протонов в атмосфере Земли, численный расчет скоростей ионизации атмосферы во время солнечных протонных событий типа GLE (Ground Level Enhancement) и определение их роли в формировании полярного стратосферного аэрозоля.

(5) проведены модельные расчеты и получены численные оценки вариаций химического состава полярной атмосферы во время уменьшений скоростей ионизации атмосферы, связанных с Форбуш-понижением галактических космических лучей.

(6) проведены модельные расчеты параметров электрической цепи в зависимости от скорости ионизации атмосферы под воздействием высыпаний энергичных частиц и процессов в магнитосфере и ионосфере.

(7) проведены модельные расчеты и получены оценки воздействия электромагнитного излучения на химический состав высокоширотной атмосферы и озон во время солнечных вспышек.

При этом результаты численного моделирования сопоставлялись с экспериментальными данными, что обеспечивало валидацию корректности модельных расчётов.

Фактически И.А.Мироновой было создано новое направление солнечно-земных исследований: «Скорость ионизации атмосферы как основное звено в цепочке солнечно-земных связей, характеризующее воздействие космической погоды на атмосферу Земли», включающее следующие разделы:

- Технологии расчета скоростей ионизации атмосферы от нижней термосферы до нижней стратосферы по данным спутниковых и баллонных измерений.
- Оценка степени разрушения мезосферного озона в зависимости от сезона, места и интенсивности вариаций скорости ионизации атмосферы под воздействием высыпаний энергичных электронов.

- Технологии расчета скоростей ионизации атмосферы во время эруптивных солнечных протонных событий типа GLE и их роли в формировании полярного стратосферного аэрозоля.
- Оценка степени разрушения озона и озон-разрушающих групп (НОх и NOх) во время Форбуш-понижений галактических космических лучей.
- Оценка изменений параметров электрической цепи в зависимости от процессов в магнитосфере, ионосфере и скоростей ионизации атмосферы под воздействием высыпаний энергичных частиц.
- Оценка степени воздействия электромагнитного излучения во время солнечных вспышек на химический состав атмосферы и озон.

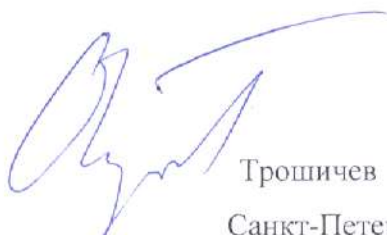
Показателем высокого качества и востребованности исследований, проведённых с участием и под руководством И.А.Мироновой, является выполнение 12 научно-исследовательских проектов (за последние 10 лет), поддержанных российскими (РФФИ, РФ) и зарубежными научными фондами. Работы, выполняемые И.А.Мироновой в Санкт-Петербургском государственном университете, встречают неизменный интерес и признание международного научного сообщества.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне. 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», 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.

Отзыв на диссертацию подготовлен Главным научным сотрудником ААНИИ профессором, доктором физ.-мат. наук Трошичевым Олегом Александровичем.

Отзыв обсужден и одобрен на семинаре отдела геофизики ААНИИ 14 ноября 2023г.

Главный научный сотрудник ААНИИ  
профессор, доктор физ.-мат. наук



Трошичев Олег Александрович  
Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38  
E-mail: olegtro@aari.ru

Подпись заверяю:



Сведения о ведущей организации:

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ)

Адрес: ул. Беринга, 38, Санкт-Петербург, Россия, 199397

E-mail: [aaricoop@aari.ru](mailto:aaricoop@aari.ru)

Телефон: 8 (812) 337 31 14