

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)»**



УТВЕРЖДАЮ

Ректор НИЯУ МИФИ

д.ф. -м.н.

В.И. Шевченко

2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ)

Диссертация «Метод мюонографии и его применение для исследования гелиосферы, магнитосферы и атмосферы Земли» выполнена в Научно-образовательном центре НЕВОД НИЯУ МИФИ, в котором соискатель Барбашина Наталья Сергеевна работала в течение всего периода создания мюонного годоскопа УРАГАН, проведения на нем исследований и подготовки диссертации. В настоящее время работает в должности проректора университета, исполняющего обязанности директора Института ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ, и продолжает преподавательскую и научную деятельность в Научно-образовательном центре НЕВОД, работая доцентом по совместительству.

В 1994 году окончила Московский ордена Трудового Красного Знамени инженерно-физический институт по специальности «Электроника и автоматика физических установок».

В 2013 году защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение.

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Барбашиной Н.С. «Метод мюонографии и его применение для исследования гелиосферы, магнитосферы и атмосферы Земли» является законченной научно-квалификационной работой, в рамках которой разработан и создан новый метод дистанционного исследования космического и околоземного пространства в потоке мюонов космических лучей – метод мюонографии, позволяющий качественно и количественно изучать возмущения в межпланетном и околоземном пространстве и динамику их развития.

1. Автор внес определяющий вклад в разработку метода мюонографии, основанного на исследовании вариаций потока мюонов по данным мюонного годоскопа УРАГАН. Предложены количественные параметры, описывающие мюонографии – вектор относительной анизотропии потока мюонов космических лучей, его горизонтальная проекция r_h и проекции на географический Юг (r_S) и Восток (r_E), указывающих на анизотропию потока мюонов по азимутальным направлениям. Разработан метод перехода от мюонографий в лабораторной системе координат к мюонографиям в системе GSE (Geocentric Solar Ecliptic System) для изучения гелиосферных возмущений, вызванных воздействиями неоднородностей межпланетного магнитного поля на поток заряженных первичных космических лучей.
2. Автор участвовал в разработке и создании мюонного годоскопа УРАГАН, проведении и обеспечении длительного эксперимента в период с 2007 года по 2020 гг., в котором было зарегистрировано 1,5 триллиона мюонов

космических лучей. Разработаны алгоритмы для комплекса программ обработки и анализа вариаций потока мюонов во время атмосферных, магнитосферных и гелиосферных событий. Получены коэффициенты корреляции среднемесячных значений проекции вектора относительной анизотропии (r_h) со среднемесячными значениями параметров межпланетного магнитного поля и индексами геомагнитной активности.

3. Автор применил метод мюонографии к анализу результатов длительного эксперимента на мюонном годоскопе УРАГАН (2007 – 2020 гг.), что позволило получить целый ряд новых научных результатов в физике космических лучей и солнечно-земных связей, в том числе:

- получены интегральные, энергетические, пространственно-угловые и временные характеристики потока мюонов космических лучей в области энергий выше 10 ГэВ во время магнитосферных и гелиосферных возмущений;
- показано, что изменения относительной анизотропии вариаций потока мюонов (r_S и r_E) во время форбуш-понижений (ФП) наблюдаются в основном на фазах падения и минимума ФП и, в среднем, соответствуют Восточно-Западной анизотропии первичных космических лучей;
- получены мюонографии GLE (Ground-Level Enhancements) в локальной и GSE системах, позволяющие прямым методом исследовать угловые изображения коллимированного сгустка релятивистских протонов, выброшенных из Солнца;
- получены GSE-отображения деформаций углового распределения на основе анализа последовательностей мюонографий для гелиосферных возмущений, вызванных корональными выбросами масс (КВМ), выявлены особенности регистрации геоэффективных и негеоэффективных КВМ в различные периоды солнечной активности;
- установлено, что в периоды минимумов солнечной активности (2008-2010, 2017-2019) в 72 ± 4 % возмущений, вызванных высокоскоростным

- солнечным ветром, наблюдалось повышение потока космических лучей в среднем за 18 ± 4 часов до начала магнитного возмущения на Земле;
- проведено сопоставление мюнографий и карт доплеровского радиолокатора во время грозových явлений (ГЯ) и показано, что более чувствительными к атмосферным возмущениям являются параметры анизотропии потока мюонов, которые позволяют идентифицировать ГЯ с вероятностью около 70%, а при сопровождении ГЯ теплым и холодным фронтами – более 80%.
4. Автором подготовлены основные публикации и представлены доклады по результатам исследований; также при его непосредственном участии подготовлены заявки на патенты и свидетельства на результаты интеллектуальной деятельности.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- впервые получены мюнографии событий, вызванных возмущениями в космическом и околоземном пространствах: GLE, ФП и грозových аномалий;
- впервые введена в методику анализа событий, вызванных возмущениями в космическом и околоземном пространствах, горизонтальная проекция вектора относительной анизотропии потока мюонов и показано, что ее изменения могут служить предвестником геоэффективных событий;
- впервые изучены долговременные вариации проекций вектора локальной анизотропии потока мюонов космических лучей;
- впервые с помощью одной установки и в рамках единого подхода определены интегральные, энергетические, пространственно-угловые и временные характеристики вариаций потока мюонов во время событий GLE и форбуш-понижений;

- впервые на основе мюнографий и карт метеорологических доплеровских радаров показано, что параметры анизотропии потока мюонов позволяют идентифицировать грозовые явления с вероятностью ~ 70 %, а при прохождении атмосферных фронтов – более 80 %.

Практическая значимость

Метод мюнографии окружающего пространства является новым источником информации о процессах как космического, так и атмосферного масштабов.

Способ и устройство для получения мюнографий могут быть использованы при проектировании новых мюонных годоскопов и анализе их экспериментальных данных.

Разработанные методы комплексного анализа данных по исследованию вариаций потока мюонов космических лучей во время возмущений в космическом и околоземном пространствах, зарегистрированных мюонным годоскопом, могут быть использованы для анализа подобных событий, регистрируемых другими детекторами.

Многолетние экспериментальные данные могут быть использованы для проверки моделей прохождения космических лучей с энергиями выше 10 ГэВ через гелиосферу и околоземное пространство, а также в прикладных задачах, связанных с дистанционным мониторингом гелиосферных возмущений.

Изменения параметров локальной анизотропии потока мюонов являются хорошим предвестником потенциально опасных процессов в магнитосфере Земли.

Полученные результаты являются основой для развития сети мюонных годоскопов, которая позволит обеспечить непрерывные наблюдения за солнечными событиями, возмущениями в магнитном поле и атмосфере Земли.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

Экспериментальные результаты получены на трех независимо работающих супермодулях мюонного годоскопа УРАГАН, которые демонстрируют высокую степень идентичности всех наблюдаемых явлений.

Сопоставление данных мюонного годоскопа УРАГАН с данными нейтронных мониторов во время различных гелиосферных и магнитосферных явлений показало их хорошее согласие (коэффициенты корреляции на уровне 0,8).

Сопоставление данных мюонного годоскопа УРАГАН с данными метеорологических доплеровских радаров во время гроз в Московском регионе показало их хорошее согласие на уровне соответствия 70 % – 80%.

Апробация работы

Результаты работы были представлены в 42 докладах на международных и российских конференциях, в том числе в трех приглашенных докладах на пленарных заседаниях международных конференций.

По теме диссертационной работы соискателем опубликовано 44 научные работы, в том числе в высокорейтинговых журналах *Astroparticle Physics*, *Advances in Space Research*, *Physics of Atomic Nuclei*, из которых 36 работ входят в список Scopus/Web of Science, 15 – в реферируемые научные издания из списка ВАК. На результаты интеллектуальной деятельности получено 6 патентов и свидетельств.

Полнота изложения материалов диссертации в публикациях

Содержание докторской диссертации и основные положения, выносимые на защиту **полно отражены** в опубликованных работах. В публикациях по теме диссертации автором подготовлены разделы с описанием исследуемых с

помощью мюонов космических лучей различных явлений, включая форбуш-понижения и события типа GLE, методов и результатов обработки данных мюонного годоскопа УРАГАН и нейтронных мониторов, а также сформулированы основные выводы.

Специальность, которой соответствует диссертация

Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики (физико-математические науки). В соответствии с паспортом специальности, решаемая в диссертации проблема относится к п. 2 «Разработка новых принципов и методов измерений физических величин, основанных на современных достижениях в различных областях физики и позволяющих существенно увеличить точность, чувствительность и быстродействие измерений. Разработка и создание научной аппаратуры и приборов для экспериментальных исследований в различных областях физики».

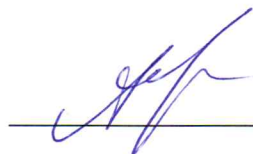
Научно-образовательный центр НЕВОД считает, что диссертация Барбашиной Н.С. написана на высоком научном уровне, характеризуется оригинальностью разработанных методов и широтой проведённого анализа, чёткостью сделанных выводов и удовлетворяет требованиям действующего Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук за разработку и создание нового метода дистанционного исследования космического и околоземного пространства в потоке мюонов космических лучей – метода мюонографии и полученные результаты исследований гелиосферных, магнитосферных и атмосферных возмущений на мюонном годоскопе УРАГАН, совокупность которых является значительным научным достижением.

Диссертация Барбашиной Натальи Сергеевны «Метод мюонографии и его применение для исследования гелиосферы, магнитосферы и атмосферы Земли» рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Заключение принято на заседании Научно-образовательного центра НЕВОД, на котором присутствовало 34 человека.

Результаты голосования: «за» – 34, «против» – 0, «воздержались» – 0, протокол № 149/304 от 30 июня 2021 г.

Руководитель
Научно-образовательного центра
НЕВОД, д.ф.-м.н., профессор

 А.А. Петрухин

И.о. ученого секретаря
Научно-образовательного центра
НЕВОД, к.ф.-м.н.

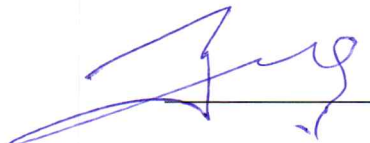
 С.С. Хохлов

Диссертация Барбашиной Натальи Сергеевны «Метод мюонографии и его применение для исследования гелиосферы, магнитосферы и атмосферы Земли» и заключение НОЦ НЕВОД заслушаны и одобрены на семинаре Института ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ 8 февраля 2022 года.

Заместитель директора
Института ядерной физики и технологий
НИЯУ МИФИ, д.ф.-м.н., профессор

 Г.В. Тихомиров

Председатель Совета по аттестации и
подготовке научно-педагогических кадров
НИЯУ МИФИ
д.ф.-м.н., профессор

 Н.А. Кудряшов