

6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.023.04
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ.П.Н. ЛЕБЕДЕВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26 сентября 2022 г. № 51

о присуждении Барбашиной Наталье Сергеевне, гражданке Российской
Федерации, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Метод мюонографии и его применение для исследования гелиосферы, магнитосферы и атмосферы Земли» по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики» принята к защите 20 июня 2022 года, протокол № 48 диссертационного совета Д 002.023.04, созданного 9 ноября 2012 года приказом № 717/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53 (ФИАН).

Соискатель Барбашина Наталья Сергеевна, 1971 года рождения, в 1994 г. окончила обучение в Московском ордена Трудового Красного Знамени инженерно-физическом институте по специальности «Электроника и автоматика физических установок». В 2013 году в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ» защитила диссертацию «Методика исследования форбуш-эффектов в потоке мюонов космических лучей, регистрируемых в годоскопическом режиме» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики». С 1989 года по настоящее время работает в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ», в настоящее время в должности проректора НИЯУ МИФИ и доцента Научно-образовательного центра НЕВОД.

7

Диссертационная работа выполнена в Научно-образовательном центре НЕВОД НИЯУ МИФИ Министерства образования и науки Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

1. Свертилов Сергей Игоревич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва;
2. Стародубцев Сергей Анатольевич, доктор физико-математических наук, директор Института космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск;
3. Струминский Алексей Борисович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук г. Москва;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН), г. Москва, г. Троицк, в своем положительном отзыве, составленном Беловым Анатолием Владимировичем, кандидатом физико-математических наук, заведующим Лабораторией исследований вариаций космических лучей ИЗМИРАН и Янке Виктором Гуговичем, кандидатом физико-математических наук, заведующим Отделом космических лучей ИЗМИРАН, утверждённом Кузнецовым Владимиром Дмитриевичем, доктором физико-математических наук, директором ИЗМИРАН, указала, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к докторским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Барбашина Наталья Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-

математических наук по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики за разработку и применение метода мюонографии в исследованиях гелиосферы, магнитосферы и атмосферы Земли, совокупность которых является важным научным достижением в солнечно-земной физике.

Соискатель имеет 158 опубликованных работ. По теме диссертационной работы опубликовано 44 научных труда, из которых 36 работ входят в список Scopus/Web of Science, 15 – изданы в реферируемых научных изданиях из списка ВАК, 6 – являются результатами интеллектуальной деятельности.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. N.S. Barbashina, A.A. Petrukhin, V.V. Shutenko. Method of muonography and prospects of its further development. Physics of Atomic Nuclei. 2021. Vol. 84, iss. 6, pp. 1182-1194. DOI: 10.1134/S1063778821130044 (Scopus, WoS).
2. Н.В. Осетрова, И.И. Астапов, Н.С. Барбашина, А.Ю. Коновалова, В.В. Шутенко. Исследование связи параметров вариаций космических лучей, регистрируемых на земле, с корональными дырами на Солнце. Известия РАН. Серия физическая. 2021. Т. 85, № 11, с. 1608–1610. DOI: 10.31857/S0367676521110284 (Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2021. Vol. 85, no. 11, pp. 1269-1271) (ВАК, Scopus).
3. N.V. Osetrova, I.I. Astapov, N.S. Barbashina and A.Y. Konovalova. Criteria for early prediction of geomagnetic disturbances caused by coronal holes during periods of low solar activity based on muon flux variations. Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1690, 012019. DOI: 10.1088/1742-6596/1690/1/012019 (Scopus).
4. A.Yu. Konovalova, I.I. Astapov, N.S. Barbashina, N.V. Osetrova, Y.N. Mishutina, et al. Analysis of muon flux variations caused by high-speed solar wind during periods of low solar activity. Physics of Atomic Nuclei. 2019. Vol. 82, №. 6, pp. 909–915. DOI: 10.1134/S1063778819660311 (Scopus, WoS).
5. I.I. Astapov, N.S. Barbashina, A.N. Dmitrieva, I.A. Melnikova, N.V. Osetrova, et al. Investigation of local deformations of muon flux angular distribution during

- CME with GSE-mapping technique. Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1390, 012067. DOI: 10.1088/1742-6596/1390/1/012067 (Scopus, WoS).
6. И.И. Яшин, И.И. Астапов, Н.С. Барбашина, А.Н. Дмитриева, К.Г. Компаниец и др. GSE-отображение деформаций углового распределения потока мюонов, регистрируемого годоскопом УРАГАН, в режиме реального времени. Известия РАН. Серия физическая. 2019. Т. 83, № 5, с. 631–634. DOI: 10.1134/S0367676519050405 (Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2019. Vol. 83, no. 5, pp. 572-575) (БАК, Scopus).
 7. Н.С. Барбашина, И.И. Астапов, Т.А. Белякова, А.Н. Дмитриева, А.В. Козырев и др. Изучение вариаций потока мюонов, зарегистрированных МГ УРАГАН во время гроз. Известия РАН. Серия физическая. 2017. Т. 81, № 2, с. 250–253. DOI: 10.7868/S0367676517020065 (Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2017. Vol. 81, no. 2, pp 230-233) (БАК, Scopus).
 8. Н.С. Барбашина, И.И. Астапов, В.В. Борог, А.Н. Дмитриева, Р.П. Кокоулин и др. Изменения относительной анизотропии потока мюонов во время фобуш-понижений по данным МГ УРАГАН. Известия РАН. Серия физическая. 2015. Т. 79, № 5, с. 688–690 (Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2015. Vol. 79, no. 5, pp. 634-636) (БАК, Scopus).
 9. N. Barbashina, N. Ampilogov, I. Astapov, V. Borog, A. Dmitrieva, et al. Local anisotropy of muon flux during Forbush decreases from URAGAN data. 2015. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 632, 012049. DOI:10.1088/1742-6596/632/1/012049 (Scopus, WoS).
 10. I.I. Astapov, N.S. Barbashina, A.N. Dmitrieva, R.P. Kokoulin, A.A. Petrukhin, et al. Local anisotropy of muon flux - the basis of the method of muon diagnostics of extra-terrestrial space. Advances in Space Research. 2015. Vol. 56, iss. 12, pp. 2713–2718. DOI: 10.1016/j.asr.2015.05.039 (Scopus, WoS).
 11. I.I. Yashin, I.I. Astapov, N.S. Barbashina, V.V. Borog, A.N. Dmitrieva, R.P. Kokoulin, K.G. Kompaniets, A.A. Petrukhin, V.V. Shutenko, E.I. Yakovleva. Real-time data of muon hodoscope URAGAN. Advances in Space Research. 2015. Vol. 56, iss. 12, pp. 2693–2705. DOI: 10.1016/j.asr.2015.06.003 (Scopus, WoS).

12. N.S. Barbashina, I.I. Astapov, A.N. Dmitrieva, A.Yu. Konovalova, K.G. Kompaniets, et al. Comparison of muon hodoscope URAGAN and neutron monitors' data for 2008 – 2014. Proceedings of Science. 2015. PoS(ICRC2015)130 (Scopus).
13. В.В. Шутенко, И.И. Астапов, Н.С. Барбашина, А.Н. Дмитриева, Р.П. Кокоулин и др. Долговременные вариации углового распределения потока мюонов. Геомагнетизм и аэрномия. 2013. Т. 53. № 5. с. 611-619. DOI: 10.7868/S0016794013050155. (Geomagnetism and Aeronomy. 2013. Vol. 53, no. 5, pp. 571-579) (BAK, Scopus, WoS).
14. А.С. Михайленко, Н.В. Ампилогов, Н.С. Барбашина, А.Н. Дмитриева, К.Г. Компаниец и др. Изучение вариаций потока мюонов на поверхности Земли по данным мюонного годоскопа во время нестационарных атмосферных процессов. Известия РАН. Серия физическая. 2011. Т. 75, № 6, с. 877–880 (Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2011. Vol. 75, no. 6, pp. 827-830) (BAK, Scopus).
15. D.A. Timashkov, Yu.V. Balabin, N.S. Barbashina, R.P. Kokoulin, K.G. Kompaniets, et al. Ground level enhancement of December 13, 2006 observed by means of muon hodoscope. Astroparticle Physics. 2008. Vol. 30, pp. 117–123. DOI: 10.1016/j.astropartphys.2008.07.008 (Scopus).

Выбор ведущей организации и официальных оппонентов обосновывается их высокой профессиональной квалификацией, способностью оценить научную значимость работы и достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в области физики космических лучей и участием в проведении экспериментальных исследований на детекторах по регистрации частиц и эффектов, которые вызываются их взаимодействием с окружающим пространством.

На автореферат диссертации дали положительный отзыв:

Сдобнов Валерий Евгеньевич, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск;

Лагутин Анатолий Алексеевич, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой радиофизики и теоретической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный университет», г. Барнаул;

Хоконов Мурат Хазреталиевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и экспериментальной физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», г. Нальчик;

Ашот Чилингарян, доктор физико-математических наук, руководитель отделения физики космических лучей Национальной лаборатории им. А.И. Алиханяна, исполнительный директор Арагацского центра космической погоды, г. Ереван (Армения).

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Введено понятие и **разработана концепция** мюонографии – нового дистанционного метода исследования космического и околоземного пространства в потоке мюонов космических лучей.

Разработан способ получения мюонографий по данным мюонных годоскопов для изучения возмущений, вызванных солнечной активностью, в космическом и околоземном пространстве и для прослеживания динамики их развития.

Введены количественные параметры, описывающие мюонографии: вектор относительной анизотропии потока мюонов космических лучей и его проекции

на географический юг (r_S) и восток (r_E), характеризующие анизотропию потока мюонов по азимутальным направлениям, а также его горизонтальная проекция (r_h), показывающая деформацию углового распределения потока частиц.

Впервые получены мюонографии события GLE (Ground-Level Enhancements) в локальной и GSE системах, позволяющие прямым методом исследовать угловые изображения коллимированного сгустка релятивистских солнечных протонов, выброшенных из Солнца.

Показано, что во время фобуш-понижений изменения относительной анизотропии вариаций потока мюонов (r_S и r_E) наблюдаются в основном на фазах падения и минимума и в среднем соответствуют восточно-западной вариации анизотропии первичных космических лучей.

Впервые получены GSE-отображения деформаций углового распределения космических лучей на основе анализа последовательностей мюонографий, для гелиосферных возмущений, вызванных корональными выбросами масс, выявлены особенности регистрации геоэффективных и негеоэффективных КВМ в различные периоды солнечной активности.

Установлено, что в периоды минимумов солнечной активности (2008 – 2010 гг., 2017 – 2019 гг.) в $(72 \pm 4)\%$ возмущений, вызванных высокоскоростным солнечным ветром, наблюдалось изменение потока космических лучей в среднем за (18 ± 4) часов до начала магнитного возмущения на Земле.

Впервые показано, что при сопоставлении мюонографий и карт доплеровского радиолокатора во время грозových явлений, анизотропия потока мюонов наблюдается при высотах тропопаузы, составляющих больше 10.5 км, и высотах верхней границы облачности более 9.5 км, что хорошо согласуется с данными о высоте генерации мюонов в атмосфере

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что разработан новый метод исследования окружающего пространства, который открывает новые области использования мюонной компоненты космических лучей для раннего обнаружения, мониторинга и прогнозирования дальнейшего развития потенциально опасных возмущений в гелиосфере, магнитосфере и атмосфере Земли.

Применение метода мюонографии позволило выявить качественно новые закономерности в вариациях потока мюонов космических лучей во время развития возмущений в космическом и околоземном пространстве, а именно:

- впервые получены мюонографии событий, вызванных возмущениями в космическом и околоземном пространствах: GLE, форбуш-понижений 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 мюонографий и карт метеорологических доплеровских радаров показано, что параметры анизотропии потока мюонов позволяют идентифицировать грозových явления с вероятностью $\sim 70\%$, а при прохождении атмосферных фронтов – более 80% .

Практическая значимость полученных соискателем результатов подтверждается тем, что:

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

Экспериментальные данные, полученные за 14-летний период, 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.

Способ и устройство для получения мюнографий могут быть использованы при проектировании новых мюонных годоскопов и анализе их экспериментальных данных, а также могут применяться при развитии сети мюонных годоскопов для непрерывного наблюдения за солнечными событиями, возмущениями в магнитном поле и атмосфере Земли.

Метод мюнографии и способ обнаружения гелиосферных и атмосферных возмущений подтверждены двумя патентами на изобретения [№ 2406919 от 20.12.2010; № 2446495 от 27.03.2012], двумя патентами на полезные модели [№ 110531 от 20.11.2011; № 112778 от 20.01.2012] и двумя свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ [№ 2016663802 от 10.01.2017; № 2020664452 от 13.11.2020].

Оценка **достоверности результатов** исследования выявила, что:

- Экспериментальные результаты, полученные на трех независимых супермодулях мюонного годоскопа УРАГАН, демонстрируют хорошую идентичность всех наблюдаемых явлений.
- Сопоставление данных мюонного годоскопа УРАГАН с данными нейтронных мониторов, полученными во время различных гелиосферных и магнитосферных явлений в пересекающихся областях асимптотических направлений, показало их высокую степень согласованности.
- Сопоставление данных мюонного годоскопа УРАГАН с данными метеорологических доплеровских радаров, полученными во время гроз в Московском регионе, показало их хорошее согласие.

Личный вклад соискателя:

Все работы по диссертации были выполнены лично автором, либо при его определяющем участии:

- разработан и реализован метод мюонографии, основанный на исследовании потока мюонов, регистрируемых мюонным годоскопом УРАГАН в режиме реального времени.
- разработаны алгоритмы для комплекса программ обработки и анализа вариаций потока мюонов во время атмосферных, магнитосферных и гелиосферных событий, а также унифицированные формы исследуемых событий.
- получены интегральные, энергетические, пространственно-угловые и временные характеристики потока мюонов космических лучей в области энергий выше 10 ГэВ во время магнитосферных и гелиосферных возмущений.
- проанализированы корреляции между характеристиками потока мюонов и параметрами атмосферных, магнитосферных и гелиосферных возмущений в исследуемые периоды и оценен прогностический потенциал данных по анизотропии потока мюонов.
- проведено сопоставление мюонографий с картами метеорологических доплеровских радаров во время грозových явлений.

Автор участвовал в разработке и создании мюонного годоскопа УРАГАН, проведении и обеспечении непрерывности длительного эксперимента в период с 2005 по 2020 гг. и внес определяющий вклад в оформление результатов в виде публикаций, научных докладов и патентов.

Диссертация обладает внутренним единством, в ней представлены все этапы проведенного автором исследования.

Полученные в диссертации результаты рекомендуются для использования в ИЗМИРАН, НИИЯФ МГУ, ИКФИА СО РАН, ИСЗФ СО РАН, ИКИ РАН, РКК «Энергия», ИПГ, ЦАО и других научных учреждениях при исследованиях в области солнечной-земной физики, мониторинга космической погоды, а также опасных атмосферных явлений.

На заседании 26 сентября 2022 г. диссертационный совет пришёл к выводу, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует критериям, установленным п. 9 действующего

Положения о присуждении ученых степеней, и принял решение присудить Барбашиной Наталье Сергеевне степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики» – за разработку и создание нового метода исследования гелиосферы, магнитосферы и атмосферы Земли на основе регистрации потока мюонов космических лучей – метода мюонографии и полученные с его помощью результаты исследований возмущений в межпланетном и околоземном пространстве.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики», участвовавших в заседании, из 26 человек, входящего в состав совета, проголосовали:

за присуждение ученой степени – 19,
 против присуждения ученой степени – 0,
 недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя

диссертационного совета,

доктор физико-математических наук

Ученый секретарь

диссертационного совета,

доктор физико-математических наук

наук



Полухина Наталья Геннадьевна

Баранов

Баранов Сергей Павлович

26 сентября 2022 г.