



УТВЕРЖДАЮ
Ректор НИЯУ МИФИ

Шевченко В.И.

«9» февраля 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» на диссертационную работу Шлык Наталии Сергеевны «Форбуш-эффекты, вызванные взаимодействующими возмущениями солнечного ветра»,
представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (физико-математические науки)

Целью диссертационной работы Шлык Н.С. является изучение влияния взаимодействующих возмущений солнечного ветра на вариации галактических космических лучей, статистический анализ различных характеристик таких событий и установление связей между параметрами Форбуш-эффектов (ФЭ) и соответствующими межпланетными и геомагнитными возмущениями.

Актуальность работы определяется тем, что восстановление информации о параметрах гелиосферных возмущений является одной из важных задач солнечно-земной физики. Космические лучи (КЛ), чувствительные к изменению свойств плазмы солнечного ветра, представляют собой ценный инструмент для исследования солнечной активности, описания различных процессов в гелиосфере и определения свойств крупномасштабных структур солнечного ветра, в том числе, при наличии сложных взаимодействующих возмущений. Это делает исследование ФЭ, вызванных взаимодействующими структурами солнечного ветра, актуальным, практически значимым для физики солнечно-земных связей и геофизики и применимым для прогнозирования космической погоды, поскольку информация о поведении космических лучей расширяет возможности прогнозирования влияния различных солнечных и гелиосферных событий на атмосферу и магнитосферу Земли.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- На большом статистическом материале для периода с 1995 по 2024 гг. установлены характерные особенности и описаны различия ФЭ, вызванных крупномасштабными возмущениями солнечного ветра (в частности, межпланетными корональными выбросами массы (КВМ) и потоками плазмы из корональных дыр (КД)).
- Разработана и описана эмпирическая модель расчета времени и скорости распространения межпланетных КВМ на основе солнечных данных.
- Впервые предложено пороговое значение времени между регистрацией отдельных межпланетных возмущений и описаны характеристики различных типов возмущений солнечного ветра, которые следует считать изолированными или взаимодействующими.
- На основе статистического и сравнительного анализа впервые установлено, что в зависимости от вида и характера взаимодействия структур солнечного ветра параметры сопутствующих ФЭ и геомагнитной активности в значительной степени отличаются от параметров изолированных событий.
- Впервые показано, что наличие взаимодействия усиливает эффективность второго межпланетного возмущения в любой взаимодействующей паре, увеличивая его способность модулировать галактические КЛ и продуцировать рост геомагнитной активности.
- Проанализировано поведение некоторых временных параметров ФЭ для взаимодействующих событий и впервые установлено, что средние времена регистрации минимума ФЭ, а также максимума скорости солнечного ветра и модуля индукции межпланетного магнитного поля значительно меньше, чем для изолированных событий, т.е. вторые события из взаимодействующих пар не дают полностью развиваться первым, обрезают их.

Научная и практическая значимость работы

- 1) Полученные зависимости характеристик ФЭ от вида и параметров изолированных и взаимодействующих возмущений солнечного ветра служат для более детального изучения солнечно-земных связей и позволяют глубже разобраться в физике гелиосферных процессов и свойствах крупномасштабных структур солнечной плазмы, а также могут использоваться для уточнения моделей модуляции КЛ.
- 2) Установленные связи параметров изолированных и взаимодействующих возмущений солнечного ветра с последующими вариациями плотности и анизотропии КЛ и геомагнитной активности могут быть использованы для улучшения прогнозов геоэффективности солнечных источников межпланетных возмущений и состояния космической погоды.

Достоверность результатов, полученных диссертантом, подтверждается статистическим анализом большого количества событий в течение длительного периода времени. Все результаты, обсуждаемые в диссертации, опубликованы в научных журналах и представлены на многочисленных конференциях.

Обоснованность полученных результатов заключается в том, что они хорошо согласуются с известными физическими закономерностями и общепринятыми моделями образования Форбуш-эффектов, а также прошли апробацию в работе Центра прогнозов космической погоды ИЗМИРАН с положительным результатом.

Замечания по содержанию диссертации:

1. В диссертации приведен подробный обзор методов регистрации вариаций космических лучей различными детекторами, однако недостаточное внимание уделено мюонным телескопам и годоскопам, которые также являются ценными инструментами исследований.
2. Хорошо известно, что направления дрейфов частиц в межпланетном пространстве различаются в зависимости от полярности магнитного поля Солнца. Автор рассматривает длительный период времени, включающий периоды разной полярности, однако не обсуждает эти особенности применительно к генерации Форбуш-эффектов.
3. Полученные результаты представляют собой хороший инструмент, который можно использовать для прогнозирования длительности и амплитуды Форбуш-эффектов. Было бы полезно сделать акцент на оценке этих величин.
4. В тексте диссертации приводятся ссылки на различные порталы и базы данных по космической погоде без указания последнего обращения к сайту. К сожалению, часть ссылок на момент подготовки отзыва оказались не рабочие (например, каталоги ударных волн и КВМ, представленные на стр. 35).

Перечисленные замечания не умаляют научной ценности выполненных диссертантом исследовательских работ, выявленные недостатки следует интерпретировать как рекомендации по дальнейшей работе, которые не влияют на достоверность и научную значимость уже полученных результатов.

Работа написана грамотным научным языком, логично организована и имеет характер завершеного научного исследования. Выносимые на защиту положения соответствуют полученным в диссертации результатам. Результаты диссертационного исследования опубликованы в 32 научных статьях, 14 из которых в ведущих журналах, включенных в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций. Автореферат соискателя в полной мере отражает содержание диссертации.

Таким образом, диссертационная работа «Форбуш-эффекты, вызванные

взаимодействующими возмущениями солнечного ветра» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. Автор диссертации, Шлык Н.С., несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия» за решение научной задачи выявления связи форбуш-эффектов с взаимодействующими возмущениями солнечного ветра.

Отзыв подготовила:

доцент Научно-образовательного центра НЕВОД Института ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ, доктор физико-математических наук



Барбашина Наталья Сергеевна

Телефон: 89166108347

E-mail: NSBarbashina@mephi.ru

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен в качестве официального на заседании Научного технического совета Института ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ (протокол № 1-10/26 от 20 января 2026 г.).

Секретарь Научного технического совета
Института ядерной физики
и технологий НИЯУ МИФИ,
доктор физико-математических наук



Гуров Юрий Борисович

Председатель совет по аттестации и
подготовке научно-педагогических
кадров НИЯУ МИФИ
доктор физико-математических наук



Кудряшов Николай Алексеевич

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», НИЯУ МИФИ

Почтовый адрес: 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31.

Телефон: +7 495 788-5699

Адрес электронной почты: info@mephi.ru

Интернет-адрес официального сайта: <https://mephi.ru/>

Список основных публикаций работников ведущей организации по теме
диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Borog V. V., Astapov I. I., Barbashina N. S., Mishutina Yu. N., Shutenko V. V. Analysis of geoeffective coronal mass ejections in the flux of the solar wind and cosmic rays at ground level on may 10–12, 2024. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2025. 89, 6, 821-825
2. Sukhova P.A., Astapov I.I., Barbashina N.S., Kuzmenkova P.S., Lagoida I.A., Mishutina Yu.N., Shutenko V.V. Rigidity spectrum of forrush effects observed during solar cycles 24 and 25. Physics of Atomic Nuclei. 2024, 87, 12, 1908-1911
3. Barbashina N.S., Petrukhin A.A., Shutenko V.V. Method of muonography and prospects of its further development. Physics of Atomic Nuclei. 2021, 84, 6, 1182-1194.
4. Kovylyaeva A.A., Barbashina N.S., Dmitrieva A.N., Mishutina Y.N., Shutenko V.V., Yakovleva E.I., Yashin I.I., Getmanov V.G., Dobrovolsky M.N., Soloviev A.A., Chinkin V.E. Study of forrush effects during powerful solar flares by the URAGAN muon hodoscope data. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2021, 85, 4, 464-467.
5. Shutenko V.V., Barbashina N.S., Dmitrieva A.N., Yakovleva E.I. Variation of cosmic ray muons in 2007–2019. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2021, 85, 1055-1057.

Секретарь Научного технического совета
Института ядерной физики
и технологий НИЯУ МИФИ,
доктор физико-математических наук



Гуров Юрий Борисович