

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИСЗФ СО РАН

чл.-корр. РАН

Медведев А.В.

27 01 2022 г.



Отзыв

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук
на диссертационную работу Маурчева Евгения Александровича «Моделирование взаимодействия частиц космических лучей с системами детекторов и атмосферой Земли», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Целью диссертационной работы Маурчева Е.А. являются расчеты параметров распространения космических лучей (КЛ) через земную атмосферу и получение энергетических характеристик некоторых детекторов, регистрирующих вторичные КЛ.

Актуальность объясняется тем, что потоки КЛ оказывают значительное влияние на биологические объекты и технику, особенно в приполярных областях Земли. В частности, Международная организация гражданской авиации (ICAO) готовит требования к авиаперевозчикам по обеспечению радиационной безопасности пассажиров и экипажей. Поэтому необходимо иметь информацию об эффективной дозе радиации при осуществлении авиаперелетов через полярные области Земли или оценку негативного воздействия вторичного излучения на электронные устройства во время различных спорадических событий на Солнце, которые приводят к возрастаниям интенсивности КЛ, в частности, к наземным возрастаниям интенсивности КЛ (Ground Level Enhancement, GLE).

Научная новизна

- Предложен и испытан метод получения функций эффективности регистрации действующего детектирующего оборудования, установленного на станции нейтронного монитора Апатиты и имеющего уникальную конфигурацию, при помощи параметризации моделей, разработанных на основе GEANT4. Полученные данные не только являются отличным методом калибровки уже существующих детекторов, но и используются при параметризации вновь разрабатываемых устройств.
- Впервые получены результаты, доказывающие эффективность использования природного декагидрата тетрабората натрия ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) в качестве эффективного поглотителя нейтронов с энергией $0.025 \text{ эВ} < E < 1 \text{ МэВ}$ в составе детектирующего оборудования.
- Впервые получены данные, позволяющие модельным путем оценить воздействие протонов ГКЛ на скорость ионизации атмосферы Земли в глобальном масштабе. На основе этих результатов построены соответствующие высотные и пространственные профили (срезы) и произведено их сравнение с экспериментальными данными.
- Впервые предложен метод использования данных о спектрах СКЛ для оценки характеристик потоков вторичных частиц и скорости ионизации атмосферы во время событий GLE посредством созданного автором модуля RUS-COSMICS.

Научная и практическая значимость

- Результаты, полученные в ходе моделирования оборудования для регистрации космического излучения, позволяют лучше понять особенности распространения частиц внутри системы рассматриваемого детектора и в случае необходимости производить калибровку или пересчет эффективных параметров.
- Результаты, полученные в ходе ряда модельных экспериментов по расчету прохождения протонов КЛ через атмосферу Земли, позволяют получить количественную оценку потоков вторичного излучения, которая, в свою очередь, находит применение как в фундаментальных исследованиях (например, изучение широких атмосферных ливней), так и в прикладной области (радиационная безопасность).

Достоверность и обоснованность представленных в диссертационной работе результатов следует из их тщательного анализа и подтверждения большими массивами экспериментальных данных. Рассчитанные значения потоков вторичных частиц в атмосфере хорошо согласуются с профилями,

полученными при помощи шаров-зондов с установленными на них счетчиками Гейгера. Полученные в работе данные используются на нейтронном мониторе станции Апатиты для расчета скорости ионизации атмосферы Земли протонами первичных КЛ, а также применяются для решения широкого спектра задач в области физики космических лучей. Результаты докладывались и обсуждались на многих представительных российских и международных научных форумах и были опубликованы в рецензируемых изданиях.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Объем составляет 104 страницы, включает 51 рисунок и 4 таблицы. Список литературы содержит 108 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, представлены основные результаты и защищаемые положения, определены новизна и научная ценность работы, а также кратко изложено содержание диссертации.

В первой главе представлен обзор современного состояния исследований прохождения КЛ через атмосферу Земли. Описаны разработанные численные модели трех детекторов, предназначенных для регистрации потоков нейтронов и гамма-квантов, один из которых — узконаправленный спектрометр (УНС) — полностью спроектирован и введен в эксплуатацию коллективом станции НМ Апатиты. Получены функции эффективности регистрации детекторов нейтронов и гамма-квантов. Описана численная модель прохождения протонов КЛ через атмосферу Земли с функциональной возможностью проведения расчетов ионизации на заданных высотах по всем широтам и долготам.

Во второй главе рассматривается частный случай использования модели прохождения протонов через атмосферу Земли для ГКЛ во время минимума солнечной активности. Одним из наиболее важных результатов является набор высотных зависимостей суммарных потоков частиц. Сравнением этих наборов данных с экспериментальными профилями, полученными в стратосферных измерениях на шарах-зондах, показана адекватность используемой модели распространения КЛ через атмосферу Земли реальным условиям.

В третьей главе представлены результаты, полученные при моделировании распространения КЛ через атмосферу Земли во время четырех событий GLE № 65, 67, 69, 70 в пунктах с жесткостью геомагнитного обрезания 0,65 и 3 ГВ.

В заключении приводятся основные результаты и формулируются следующие выводы представленной диссертационной работы.

- Посредством интеграции численных расчетов обновлены и усовершенствованы разработанные в Полярном геофизическом институте (ПГИ) методы по исследованию космических лучей в широком диапазоне. На базе GEANT4 созданы модели актуальных детекторов, а также разработан новый тип устройства с оптимальными параметрами для изучения направленности потока нейтронов с энергией до 1 МэВ. Создана усовершенствованная модель расчета прохождения протонов КЛ через атмосферу Земли, позволяющая не только собирать информацию о вторичных потоках и производить оценку ионизации, но и решать специфические задачи, требующие дополнительной параметризации.

- При помощи реализованных моделей исследованы особенности взаимодействия частиц КЛ с веществом как в популярных детекторах, так и в новой установке. Получены функции эффективности регистрации, а для УНС также и оптимальные геометрические параметры системы. Произведена проверка модели NaI(Tl)-спектрометра в соответствии с требованиями эксперимента. Показано, что рассчитанные в работе значения хорошо совпадают с реальными характеристиками приборов. Это означает, что уже существующие модели могут выступать как базовые и использоваться для нового оборудования путем соответствующей параметризации.

- При помощи разработанного модуля проведены множественные расчеты прохождения протонов первичных КЛ через атмосферу Земли. Как результат были получены зависимости частиц вторичной компоненты от энергии и глубины. На основе этих данных рассмотрены особенности развития каскадов, модельные высотные профили сравнивались с экспериментальными, показывая хорошее согласие. Все количественные характеристики указывают на то, что до высот 12–20 км первичные протоны испытывают преимущественно ионизационные потери. В более плотных слоях начинают преобладать неупругие взаимодействия, в результате которых и начинается развитие каскадов. Это полностью соответствует современным представлениям физики КЛ и указывает на то, что модель является состоятельной и может успешно использоваться для решения широкого круга задач, связанных с оценкой потоков частиц в атмосфере Земли, индуцированных протонами первичных КЛ.

- На основе полученных количественных характеристик потоков была рассчитана скорость ионизации вещества атмосферы Земли первичными протонами только галактических космических лучей в случае глобальной модели. В качестве примера в работе приводятся высотная зависимость жесткости геомагнитного обрезания 1,5 ГВ и срезы для всех широт и долгот (шаг сетки составляет 5°).

- Для событий GLE № 65, 67, 69, 70 получены количественные характеристики скорости ионизации атмосферы Земли первичными протонами ГКЛ, модулированными солнечными частицами. Представлены высотные профили скорости ионизации для двух значений жесткости геомагнитного обрезания (0,65 и 3 ГВ). Спектры для параметризации первичного источника получены по уникальной методике, разработанной на станции нейтронного монитора Апатиты (ПГИ).

Оценивая достоинства диссертационной работы, следует отметить, что предлагаемые для использования методики доведены до конечной программной реализации и внедрены в программный комплекс RUSCOSMICS, что обеспечивает практическую ценность диссертации. С помощью созданного программного комплекса рассчитаны модельные установки для регистрации отдельных компонент КЛ, оценены скорости образования ионов в атмосфере Земли в периоды отдельных GLE. Достоверность полученных соискателем результатов расчетов подтверждена сравнением с экспериментальными данными. Таким образом, актуальность темы, научная новизна работы, обоснованность и достоверность основных положений диссертации не вызывают сомнения. Диссертация хорошо оформлена, содержит большой иллюстративный материал. В целом диссертация заслуживает высокой оценки.

К недостаткам работы следует отнести следующие.

- Неправильная терминология. В диссертации (стр. 3) «...СКЛ во время *событий возрастания приземного фона* GLE65, GLE67, GLE69 и GLE70» Общепринято называть GLE наземными возрастаниями солнечных космических лучей (Крымский и др. Письма в ЖЭТФ. 2015, Т. 102, вып. 6. С. 372–37; Белов и др. Известия РАН. Сер. Физическая. 2015, Т. 79, № 5. С. 615–619).

- Формулировка положений, выносимых на защиту, не отвечает требованиям к написанию диссертационных работ. Научные положения — это выраженные в виде чётких формулировок результаты, имеющие научное объяснение, констатирующие свойства предмета исследования и указывающие на способы их применения. Поэтому слова «Разработка и создание ...» в пп. 3, 4 в разделе «Положения, выносимые на защиту» в тексте автореферата и диссертационной работы не могут относиться к предполагаемым результатам. Лучше указать в п. 3 «...узконаправленный детектор нейтронов...», а в п. 4 — «...программный комплекс RUSCOSMICS ...»

- Процессы распространения галактических и солнечных КЛ в земной атмосфере не отличаются друг от друга (различие только в спектрах частиц, падающих на границу атмосферы), поэтому их не надо было рассматривать в

разных главах. Логично было бы дать описание процесса распространения галактических и солнечных КЛ в земной атмосфере в одной главе, а другую главу посвятить расчету установок станций КЛ в Апатитах и Баренцбурге.

- В диссертации нет упоминания отечественных работ по расчетам эффективности нейтронного монитора, выполненных еще в прошлом веке в СибИЗМИРе (ИСЗФ СО РАН), а позднее в ИЗМИРАНе.

- В тексте диссертации и автореферата имеются опечатки (например, стр. 17 автореферата – «В третьей главе»).

Отмеченные недостатки не умаляют того основного достоинства диссертации, что соискателем проделана большая работа и получены новые интересные результаты. Они опубликованы в рецензируемых журналах, прошли серьезную апробацию на всероссийских и международных конференциях высокого уровня и представляют интерес для таких научных организаций России, как ФИАН им. П.Н. Лебедева, ИОФАН, ИЯИ РАН, НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова, НИЯУ МИФИ, Институт прикладной физики РАН, ИЗМИРАН, ИСЗФ СО РАН, ИКФИА СО РАН. По новизне, научной и практической значимости работа в полной мере отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по физико-математическим наукам.

Содержание диссертации изложено в логической последовательности. Стилль изложения в целом четкий и ясный. Диссертация имеет характер законченного научного исследования и оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Автореферат соискателя в полной степени отражает содержание диссертации, наиболее существенные положения, выводы и рекомендации.

Таким образом, диссертация Маурчева Е.А. является научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных автором исследований разработаны экспериментальные и теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Маурчев Е.А., заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв заслушан и обсужден на заседании Ученого совета ИСЗФ СО РАН 26.01.2022 г.

Отзыв составил ведущий научный сотрудник ФГБУН Ордена Трудового Красного Знамени Института солнечно-земной физики Сибирского отделения

Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН) кандидат физико-математических наук, специальность 01.04.12 – геофизика



Сдобнов Валерий Евгеньевич

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 126а, а/я 291, ИСЗФ СО РАН
Тел. +7(3952)564282, email: sdobnov@iszf.irk.ru

Подпись Сдобнова Валерия Евгеньевича заверяю
Ученый секретарь ИСЗФ СО РАН
кандидат физико-математических наук



И.И. Салахутдинова

27.01. 2022 г.

Список научных трудов Сдобнова Валерия Евгеньевича по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15)

№ п/п	Наименование	Рукописные или печатные	Название издания (номер, год) или номер авторского свидетельства	Количество печатных листов или страниц	Фамилии соавторов
1	2	3	4	5	6
1	GROUND LEVEL ENHANCEMENTS OF COSMIC RAYS IN SOLAR CYCLE 24	Печат.	Astronomy Letters. 2017. Т. 43. № 7. С. 501-506. DOI: 10.1134/S1063773717070040	6	Kravtsova M.V.
2	ANALYSIS OF GROUND LEVEL ENHANCEMENT ON JANUARY 6, 2014	Печат	Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2017. Т. 81. № 2. С. 121-123. DOI: 10.3103/S1062873817020356	3	
3.	GEOMAGNETIC CUTOFF RIGIDITIES OF COSMIC RAYS IN A MODEL OF THE BOUNDED MAGNETOSPHERE WITH THE RING CURRENT	Печат	Geomagnetism and Aeronomy. 2017. Т. 57. № 2. С. 132-136. DOI: 10.1134/S0016793217020049	5	Kichigin G.N.
4.	PARAMETERS OF CURRENT SYSTEMS IN THE MAGNETOSPHERE AS DERIVED FROM OBSERVATIONS OF COSMIC RAYS DURING THE 2015 JUNE MAGNETIC STORM	Печат	Solar-Terrestrial Physics. 2017. Т. 3. № 3. С. 13-17. DOI: 10.12737/stp-33201702	5	Kichigin G.N., Kravtsova M.V.
5.	SPECTRA AND ANISOTROPY OF COSMIC RAYS DURING THE FIRST GLE EVENT OF SOLAR CYCLE 24	Печат	Physics of Atomic Nuclei. 2018. Т. 81. № 6. С. 771-775. DOI: 10.1134/S1063778818050113	5	Kravtsova M.V.
6.	VARIATIONS IN THE GEOMAGNETIC CUTOFF RIGIDITY DURING THE MAGNETIC STORM IN MARCH 2015	Печат	Physics of Atomic Nuclei. 2018. Т. 81. № 3. С. 396-400. DOI: 10.1134/S1063778818030122	5	Kichigin G.N., Kravtsova M.V.
7.	SPATIAL-ENERGY CHARACTERISTICS OF COSMIC RAYS AND PARAMETERS OF MAGNETOSPHERIC CURRENT SYSTEMS IN MARCH AND JUNE 2015	Печат	Geomagnetism and Aeronomy. 2018. Т. 58. № 5. С. 586-596. DOI: 10.1134/S0016793218050079	11	Kichigin G.N., Kravtsova M.V.
8.	VARIATIONS OF GEOMAGNETIC COSMIC RAY THRESHOLDS AND THEIR LATITUDINAL BEHAVIOR IN THE PERIOD OF SOLAR DISTURBANCE IN SEPTEMBER 2005	Печат	Geomagnetism and Aeronomy. 2018. Т. 58. № 1. С. 28-35. DOI: 10.1134/S0016793218010152	8	Tyasto M.I., Danilova O.A.
9.	COSMIC RAYS DURING THE GEOMAGNETIC DISTURBANCE IN JANUARY 2015	Печат	Cosmic Research. 2019. Т. 57. № 1. С. 14-17. DOI: 10.1134/S0010952519010052	4	Kravtsova M.V.
10.	GROUND LEVEL ENHANCEMENT OF COSMIC RAYS ON OCTOBER 28, 2003: SPECTRA AND ANISOTROPY	Печат	Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2019. Т. 83. № 5. С. 527-530. DOI: 10.3103/S1062873819050198	4	Kravtsova M.V.

В.н.с. отд.4.00. к.ф.-м.н.

Сдобнов В.Е.

27.01.2022

Список научных трудов заверяю
Ученый секретарь



Салахутдинова И.И.

Список научных трудов Сдобнова Валерия Евгеньевича по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15)

11.	INFLUENCE OF THE SOLAR WIND AND GEOMAGNETIC ACTIVITY PARAMETERS ON VARIATIONS IN THE COSMIC RAY CUTOFF RIGIDITY DURING STRONG MAGNETIC STORMS	Печат	Geomagnetism and Aeronomy. 2019. Т. 59. № 5. С. 530-538. DOI: 10.1134/S0016793219050098	9	Ptitsyna N.G., Danilova O.A., Tyasto M.I.,
12.	MODULATION EFFECT OF MAGNETIC COROTATING TRAP ON 27-DAY COSMIC RAY VARIATION IN NOVEMBER-DECEMBER 2014	Печат	Solar-Terrestrial Physics. 2019. Т. 5. № 1. С. 11-13. DOI: 10.12737/stp-51201902	3	Kravtsova M.V., Olemskoy S.V.
13.	GLOBAL SOLAR MAGNETIC FIELD AND COSMIC RAY GROUND LEVEL ENHANCEMENT	Печат	Solar Physics. 2019. Т. 294. № 9. С. 116. DOI: 10.1007/s11207-019-1516-5	10	Kichigin G.N., Kravtsova M.V.,
14.	КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ В ПЕРИОД ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ В МАРТЕ 1989 Г. И В МАРТЕ 1991 Г.: СПЕКТРЫ ВАРИАЦИЙ, АНИЗОТРОПИЯ И ВАРИАЦИИ ЖЕСТКОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ОБРЕЗАНИЯ	Печат	Геомагнетизм и аэрномия. 2020. Т. 60. № 4. С. 448-456. DOI: 10.31857/S0016794020040082	9	Кравцова М.В., Олемской С.В.,
15.	DISTURBED MAGNETOSPHERE ON NOVEMBER 7-8, 2004 AND VARIATIONS OF COSMIC RAY CUTOFF RIGIDITY: LATITUDE EFFECTS	Печат	Solar-Terrestrial Physics. 2020. Т. 6. № 3. С. 34-39. DOI: 10.12737/stp-63202005	6	Danilova O.A., Ptitsyna N.G., Tyasto M.I.,

В.н.с. отд.4.00. к.ф.-м.н.

Сдобнов В.Е.

27.01.2022

Список научных трудов заверяю
Ученый секретарь



Салахутдинова И.И.