

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИСЗФ СО РАН



чл.-корр. РАН

Медведев А.В.

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 Германенко Алексея Владимировича  
«Исследование солнечных космических лучей и проникающих  
излучений в атмосфере арктических и субарктических регионов Земли»,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 –  
Приборы и методы экспериментальной физики**

**Целью** диссертационной работы Германенко А.В. является экспериментальное исследование вариаций проникающих излучений в приземном слое атмосферы высоких широт и разработка методики моделирования радиационно-опасных потоков солнечных космических лучей по данным нейтронных мониторов.

**Актуальность** выполненной работы определяется с одной стороны интересами понимания физики фундаментальных процессов воздействия космических лучей на атмосферу, с другой – необходимостью такого понимания для прогнозирования радиационных угроз здоровью человека и влияния на климатические изменения.

**Новизна** исследования и полученных результатов и выводов, сформулированных в диссертации, состоит в том, что:

- в ней впервые экспериментально обнаружены полностью обусловленные процессами в низкорасположенных слоисто-дождевых облаках во время осадков возрастания рентгеновского (гамма) излучения в приземном слое атмосферы;
- предложена физическая модель генерации рентгеновского излучения, связанного с атмосферными осадками;
- разработан метод оперативного прогнозирования радиационно-опасных потоков солнечных космических лучей (СКЛ) по данным нейтронных мониторов (НМ).

### **Практическая и научная значимость для науки и практики полученных автором диссертации результатов.**

- Разработана и создана комплексная установка мониторинга основных компонентов вторичных космических лучей.
- Разработана методика оперативного прогноза радиационно-опасных потоков солнечных космических лучей в экстремальных случаях с использованием данных мировой сети НМ в режиме реального времени, которая позволяет по данным сети НМ определять верхний предел потока энергичных солнечных протонов (от 100 МэВ и выше) в околоземном пространстве во время наземных повышений интенсивности космических лучей (GLE).

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.** Достоверность полученных в диссертации результатов обусловлена тем, что все они основаны на использовании современных теоретических и экспериментальных методов, подтверждены ссылками на них в работах других авторов, тем, что они докладывались и обсуждались на целом ряде представительных российских и международных научных форумов.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы. Общий объём — 124 страницы, в том числе: 59 рисунков, 2 таблицы. Список литературы включает 84 наименования.

**Во введении** обосновывается 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** «Описание экспериментального комплекса и методические вопросы» даётся описание методики эксперимента, приводится описание экспериментального комплекса детекторов, методов регистрации и отбора данных, оценка погрешностей. Анализируется состав регистрируемых излучений, влияние на излучения факторов окружающей среды. Даётся модельное описание детекторов при помощи метода Монте-Карло.

**Вторая глава** посвящена регистрации гамма-излучения в приземном слое и обнаруженным при этом эффектам. В этой главе продемонстрирована зависимость возрастаний гамма-фона от осадков; проведено исследование влияния осадков на другие виды излучений: нейтронного и электронно-мюонного; предложен и смоделирован вероятный механизм эффекта зависимости возрастаний гамма-фона от осадков.

**Третья глава** посвящена методике прогноза радиационно-опасных потоков солнечных космических лучей по данным НМ. Даётся описание ограниченной методики моделирования событий СКЛ на уровне земли, позволяющее давать в реальном времени оперативный прогноз радиационной опасности на несколько часов вперёд для экстремальных событий.

**В заключении** подведены итоги исследования, изложены его основные положения, сделаны выводы:

1. Создан аппаратно-программный комплекс для мониторинга сложного состава проникающих излучений в атмосфере. В состав комплекса, кроме стандартного нейтронного монитора со свинцом (18-НМ-64), входят:

- бессвинцовая секция нейтронного монитора;
- сцинтилляционный гамма спектрометр;
- датчики состояния окружающей среды;
- информационно-диагностическое устройство для регистрации данных и их анализа.

Комплекс установлен на двух высокоширотных станциях космических лучей: Апатиты (субарктическая зона) и Баренцбург (арктическая зона).

2. Проведены работы по калибровке и тестированию устройств комплекса, в том числе посредством модельных расчетов методами Монте-Карло при помощи пакетов GEANT4 и Planetocosmics;

3. Проведен мониторинг гамма (рентгеновского) излучения и его спектрального состава в приземном слое атмосферы в двух высокоширотных пунктах: Апатиты и Баренцбург;

4. Впервые показано существование избыточного гамма (рентгеновского) фона, связанного с атмосферными осадками. Показано, что это излучение не связано с радиоактивностью;

5. Исследованы особенности излучения, сопровождающего атмосферные осадки. Показана связь этого излучения со слоисто-дождевым типом облачности;

6. Разработана модель генерации рентгеновского излучения, связанного с атмосферными осадками. Эта модель основывается на электрическом поле в слоисто-дождевых облаках. Энергичные электроны в атмосфере доускоряются электрическим полем облаков и генерируют тормозное рентгеновское излучение, которое затем достигает Земли;

7. Предложена система оперативного прогноза радиационной опасности от СКЛ, основанная на данных НМ;

8. Разработана упрощенная методика определения параметров потока релятивистских СКЛ по данным НМ, позволяющая в реальном времени вычислять эти характеристики с достаточной точностью;

9. Показано, что продлением спектров релятивистских солнечных протонов, полученных из данных НМ, можно предсказать с заблаговременностью 1–10 ч интенсивность солнечных протонов с энергиями в десятки – сотни МэВ.

Оценивая достоинства диссертационной работы, следует, в первую очередь, отметить большой объем привлеченных для исследования данных, как теоретических, так и экспериментальных, и детальную проработку довольно сложных численных моделей. В работе получены интересные результаты и сделан важный шаг в разработке оперативного прогноза радиационной опасности от СКЛ, основанного на данных наблюдений космических лучей на мировой сети станций. Работа выполнена по

классической схеме: создание приборов – проведение измерений – анализ и объяснение результатов. В целом диссертация заслуживает высокой оценки.

Однако, работа не свободна от недостатков, к числу которых относятся следующие:

1. Соискателю в описании НМ без свинца необходимо привести или коэффициенты связи (в терминах Л.И. Дормана) или удельную функцию сбора (the specific yield function в терминах Н. Debrunner, Э.В. Вашенюка, И.Г. Усоскина) для того, чтобы другие исследователи могли бы использовать данные наблюдений этой установки.

2. Хотя автор говорит, что для объяснения совпадения профилей годовых вариаций в данных сцинтилляционного детектора и НМ без свинца требуются дальнейшие и более полные комплексные исследования не только космических лучей, но и атмосферных процессов, нужно хотя бы качественно обосновать выдвинутое предположение, что природа этой вариации – электрическое поле.

3. В главе 2 автор отмечает «За время работы комплексной установки мониторинга потоков вторичных космических лучей было открыто новое явление — возрастание гамма-излучения при осадках. Отмечен также ряд эффектов. Самый заметный из них — это годовые вариации гамма-фона». Если «возрастание гамма-излучения при осадках» нашло объяснение в работе, то о «самом заметном» только упомянуто.

4. В используемой автором методике определения параметров потока релятивистских солнечных протонов для расчёта асимптотических конусов приёма применяется современная модель магнитосферы T-01 (Tsyganenko, 2002). Для расчетов по этой модели необходимы параметры солнечного ветра  $V$ ,  $N$ , компоненты магнитного поля  $B_{yIMF}$ ,  $B_{zIMF}$ , год, день, час и  $Dst$ . Очень часто наземные повышения интенсивности космических лучей (GLE) происходят на фоне сильных геомагнитных возмущений, и эти параметры не доступны On-line. Поэтому возникает вопрос о границах применимости описанной в диссертации методики оперативного прогноза радиационной опасности от СКЛ.

Диссертация хорошо оформлена, содержит большое количество иллюстративного материала, хотя и не свободна от опечаток, грамматических и стилистических ошибок. Например, «Открытый эффект возрастания гамма-фона, возникающее при осадках, в полярном регионе» (стр. 6); «примерна схема которого показана на Рис. 1.1.» (стр.9); «На рисунке 2.18 приведён полученный нами при моделировании спектр электронно-позитронной компоненты на высоте около 2 км» (стр.95); «Отсутствие заряженной компоненты.» (*Компоненты чего?*), «Спектральные характеристики возрастания.» (*Возрастания чего?*), «Спектральные характеристики возрастания.» (*Возрастания чего?*) (стр.79-80) и т.д. и т.п.

Однако отмеченные недостатки не умаляют того основного достоинства диссертации, что соискателем проделана большая работа и получены новые интересные результаты. Эти результаты опубликованы в рецензируемых журналах и прошли серьезную апробацию на всероссийских и международных конференциях высокого уровня. Полученные Германенко А.В. результаты 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 полученных результатов работа в полной мере отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по физико-математическим наукам.

Содержание диссертации изложено в логической последовательности. Стиль изложения в целом четкий и ясный. Диссертация имеет характер завершеного научного исследования и оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Автореферат и публикации соискателя в полной степени отражают ее наиболее существенные положения, выводы и рекомендации и достаточно полно отражает содержание диссертации.

Таким образом, диссертация Германенко А.В. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны экспериментальные и теоретические положения,

совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, что соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Германенко А.В., 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

ул. Лермонтова, д. 126А, г. Иркутск, 664033, а/я 291, ИСЗФ СО РАН,  
Тел. +7(3952)564282, Email: [sdobnov@iszf.irk.ru](mailto: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: <a href="https://doi.org/10.1134/S1063773717070040">10.1134/S1063773717070040</a>	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: <a href="https://doi.org/10.3103/S1062873817020356">10.3103/S1062873817020356</a>	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: <a href="https://doi.org/10.1134/S0016793217020049">10.1134/S0016793217020049</a>	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: <a href="https://doi.org/10.12737/stp-33201702">10.12737/stp-33201702</a>	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: <a href="https://doi.org/10.1134/S1063778818050113">10.1134/S1063778818050113</a>	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: <a href="https://doi.org/10.1134/S1063778818030122">10.1134/S1063778818030122</a>	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: <a href="https://doi.org/10.1134/S0016793218050079">10.1134/S0016793218050079</a>	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: <a href="https://doi.org/10.1134/S0016793218010152">10.1134/S0016793218010152</a>	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: <a href="https://doi.org/10.1134/S0010952519010052">10.1134/S0010952519010052</a>	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: <a href="https://doi.org/10.3103/S1062873819050198">10.3103/S1062873819050198</a>	4	Kravtsova M.V.

В.н.с. отд.4.00. к.ф.-м.н.

Сдобнов В.Е.

27.01.2022

Список научных трудов заверю  
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: <a href="https://doi.org/10.1134/S0016793219050098">10.1134/S0016793219050098</a>	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: <a href="https://doi.org/10.12737/stp-51201902">10.12737/stp-51201902</a>	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: <a href="https://doi.org/10.1007/s11207-019-1516-5">10.1007/s11207-019-1516-5</a>	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 аэронамия. 2020. Т. 60. № 4. С. 448-456. DOI: <a href="https://doi.org/10.31857/S0016794020040082">10.31857/S0016794020040082</a>	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: <a href="https://doi.org/10.12737/stp-63202005">10.12737/stp-63202005</a>	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.