



## Сборник тезисов

# 4 Летняя школа молодых ученых космофизиков 28-31 августа 2024, Якутск

### Программный комитет

С.А. Стародубцев, д.ф.-м.н. –  
председатель

Г.Ф. Крымский, академик РАН –  
сопредседатель

С.И. Петухов, д.ф.-м.н.

В.Г. Григорьев, к.ф.-м.н.

С.В. Николашкин, к.ф.-м.н.

Л.Т. Ксенофонтов, д.ф.-м.н.

В.И. Козлов, к.ф.-м.н.

И.И. Колтовской, к.ф.-м.н.

### Организационный комитет

И.С. Петухов, к.ф.-м.н. -  
сопредседатель

П.Ю. Гололобов - сопредседатель

Е.Д. Бондарь, к.ф.-м.н.

С.Е. Кобякова

В.П. Мохначевская

И.И. Колтовской, к.ф.-м.н.

Л.Д. Тарабукина, к.ф.-м.н.

С.К. Герасимова, к.ф.-м.н.

А.С. Зверев

И.С. Готовцев

В.С. Николаев

## **Оглавление:**

### **Секция солнечно-земная физика**

<b>Признаки поляризационного джета по измерениям навигационной системы GPS</b>	<b>6</b>
Данилов С.И., Степанов А.Е., Гололобов А.Ю.	
<b>Моделирование крупномасштабных волн диффузного свечения в вечернем секторе 28 декабря 2010</b>	<b>7</b>
Варламов И.И., Гололобов А.Ю., Баишев Д.Г.	
<b>Естественные потенциалы в криолитозоне 2017-2024 гг. на мари</b>	<b>8</b>
Павлов А.Е.	
<b>Воздействие солнечных рентгеновских вспышек на ионосферу Земли по данным регистрации ОНЧ-излучения пункта сети AWDANET в Якутске</b>	<b>9</b>
Уйгуров М.И., Корсаков А.А., Каримов Р.Р.	
<b>Исследование вариаций температурного профиля атмосферы по данным лидара</b>	<b>10</b>
Сидоров Н.Э., Титов С.В.	
<b>Особенности синоптических условий во время крупномасштабных пожаров в Сибири</b>	<b>11</b>
Томшин О.А., Соловьев В.С.	
<b>Особенности вариаций метана по данным TROPOMI и наземных измерений над Азиатской частью России</b>	<b>13</b>
Стародубцев В.С.	

**Динамика локальной грозовой активности на примере территории Хангаласского района в Центральной Якутии** 14  
Тарабукина Л.Д., Козлов В.И.

**Текущие результаты работы. Сопоставления наземных наблюдений и спутниковых данных** 15  
Сокольников А.В.

## **Секция астрофизика космических лучей**

**Современная реализация метода глобальной съемки** 16  
Зверев А.С., Григорьев В.Г., Гололобов П.Ю., Стародубцев С.А., Крымский Г.Ф.

**Исследование энергетического спектра солнечно-суточных вариаций интенсивности космических лучей с помощью скрещенных мюонных телескопов** 17  
Гололобов П.Ю., Григорьев В.Г., Герасимова С.К.

**Оценка динамики энергетических спектров плотности и анизотропии космических лучей в периоды Форбуш понижений по данным мировой сети нейтронных мониторов и мюонных телескопов** 18  
Гололобов П.Ю., Григорьев В.Г., Герасимова С.К., Стародубцев С.А.

**Соотношение длительности восстановления ФП и углового размера КВМ** 20  
Петухова А.С., Петухов С.И., Петухов И.С., Готовцев И.С.

**Форбуш-эффект и геомагнитная буря 24-26 марта 2024 г.** 21  
Ковалев И.И., Сдобнов В.Е., Олемской С.В., Кравцова М.В.

<b>Поведение различных параметров в межпланетных возмущениях, содержащих магнитные облака</b>	22
<b>Абунина М.А., Белов С.М., Белов А.В., Абунин А.А., Шлык Н.С.</b>	
<b>Аномальные квазирекurrentные вариации космических лучей в сентябре 2014 – феврале 2015 годов</b>	24
<b>Шлык Н.С., Белов А.В., Обридко В.Н.</b>	
<b>База данных о Форбуш-эффектах и межпланетных возмущениях: солнечные источники возмущений</b>	25
<b>Белов С.М.</b>	
<b>Регистрация атмосферных явлений в потоке мюонов</b>	26
<b>Тимаков С.С.</b>	
<b>Прототип сцинтилляционного мобильного мюонного годоскопа для мюонографии наземных объектов</b>	27
<b>Целиненко М.Ю., Гуделев М.П., Компаниец К.Г., Мирхеев С.И., Пасюк Н.А., Петрухин А.А., Хомчук Е.П., Шутенко В.В., Яшин И.И.</b>	
<b>Секция приборы и техника эксперимента, прикладные задачи</b>	
<b>Разработка регистратора естественных электрических потенциалов</b>	29
<b>Васильев А.А.</b>	
<b>Разработка программы предварительной обработки данных интерферометра Фабри-Перо</b>	30
<b>Евсеев У.Н., Николашкин С.В.</b>	
<b>Пространственное распределение частиц ШАЛ на пакете CORSICA</b>	31
<b>Муксунов Н.Я.</b>	

<b>Систематизация программного кода регистрации и обработки ливней Якутской установки ШАЛ</b>	<b>33</b>
<b>Боякинов А.Ф.</b>	
<b>Оценка интенсивности собственных шумов приемника-регистратора узкополосных ОНЧ радиосигналов</b>	<b>34</b>
<b>Корсаков А.А.</b>	
<b>Устройство ионизационной камеры АСК-1</b>	<b>36</b>
<b>Готовцев И.С.</b>	

## Секция солнечно-земная физика

### ПРИЗНАКИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ GPS

**Данилов С.И.**, Степанов А.Е., Гололобов А.Ю.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

В данной работе представлены материалы по определению поляризационного джета по данным измерений спутниковой системы навигации GPS. Данные измерений GPS позволяют вычислять полное электронное содержание (ПЭС) вдоль траектории луча. Установлено, что резкие падения ПЭС совпадают с временем наблюдения поляризационного джета по данным наземной станции Якутск и спутника DMSP F-17.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ВОЛН ДИФФУЗНОГО СВЕЧЕНИЯ В ВЕЧЕРНЕМ СЕКТОРЕ 28 ДЕКАБРЯ 2010 Г.**

**Варламов И.И.,** Гололобов А.Ю., Баишев Д.Г.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

Крупномасштабные волны диффузного свечения (КВС) можно рассматривать как достаточно редкое явление. Это вытекает хотя бы из того факта, что снимки спутников DMSP имеются в наличии с 1972 г., а первая публикация об этом явлении появилась лишь в 1982 г. [Lui et al., 1982]. В этом исследовании за десятилетний период наблюдений обнаружено только 4 события КВС. Все последующие публикации акцентированы, главным образом, на исследовании единичных событий или, в исключительных случаях, нескольких. В данном исследовании мы рассматриваем проявление КВС наблюдаемых камерами всего неба на Кольском полуострове 28 декабря 2010 г., и используем в нашей модели проанализированные в работе [Воробьев и др., 2015] условия в межпланетной среде и характеристики геомагнитной активности до начала КВС и в период их регистрации.

Целью настоящей работы является исследование особенностей формирования крупномасштабных волн диффузного свечения, наблюдаемых камерами всего неба на Кольском полуострове 28 декабря 2010 года на основе численного моделирования плазмы методом частиц в ячейках

## **ЕСТЕСТВЕННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ В КРИОЛИТОЗОНЕ 2017-2024 ГГ. НА МАРИ**

**Павлов А.Е.**

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

Заболоченные участки - мари составляют до 6% всей территории Якутии. Часть верхнего мерзлотного слоя местами содержит незамерзшую влагу и образует талики. В Якутии их распространенность достигает до 20-30%. Продолжающаяся деградация вечной мерзлоты из-за потепления приводит к росту заболоченных участков. Экспериментальные исследования проводились на участке, расположенном на таежном полигоне ИКФИА СО РАН в 25 км от г. Якутска. Пара 100 м измерительных линий захватывают неоднородность, заболоченный участок (марь). Вторая пара расположена на участке без мари и содержит талик. Весной с 17.04 по 11.05 на парах линий с марью наблюдается резкое изменение потенциалов на 55-90 мВ, вызванное таянием снега. Далее наблюдается изменение в обратную до 20.05 на 170 мВ, вызванное вешними водами. До середины июля наблюдается плато и затем изменение в сторону отрицательных потенциалов на 50 мВ, связанное с оттайкой верхнего слоя грунта. В середине ноября происходит подъем до зимних значений (идет промерзание верхнего слоя грунта). Зимой наблюдается слабо изменяющееся плато. Деятельный слой грунта при этом полностью промерзший. Естественные потенциалы на участке без мари и содержащей талик на порядок меньше по величине потенциалов на мари.

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ СОЛНЕЧНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ВСПЫШЕК НА ИОНОСФЕРУ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ РЕГИСТРАЦИИ ОНЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ ПУНКТА СЕТИ AWDANET В ЯКУТСКЕ**

**Уйгуров М.И.**, Корсаков А.А., Каримов Р.Р.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

Проведены исследования реакции нижних слоев ионосферы для трассы распространения ОНЧ-сигналов «Якутск-Австралия» на мощные рентгеновские солнечные вспышки М- и Х- класса в начале 2024 года. В исследовании использовались данные регистрации ОНЧ-излучения с помощью оборудования системы AWDANET на радиофизическом полигоне ИКФИА СО РАН «Ойбенкель». ОНЧ-сигналы излучаются радиопередатчиком NWC в Австралии на частоте 19,8 кГц. Трасса распространения ОНЧ-сигналов «Якутск-Австралия» имеет свои пространственные и временные особенности. Большая часть трассы находится на нижних и средних широтах, и при этом пересекает экваториальную часть волновода «Земля-ионосфера» по меридиану. Данная трасса представляет особый интерес для развития модели распространения электромагнитного излучения.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ЛИДАРА**

**Сидоров Н.Э.,** Титов С.В.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

Исследование вариаций температурного профиля атмосферы способствует лучшему пониманию распространения внутренних гравитационных волн (ВГВ) через слои атмосферы и оценке передачи количества импульса. Что в свою очередь поможет для моделирования климата, изучения атмосферы и разработки более точных прогностических моделей для оценки изменения климата и атмосферных процессов. В данной работе исследуются вариации температурного профиля, вызванные внутренними гравитационными волнами по данным лидара. Для этого было проведено наблюдения на стратосферном лидаре, а также обработаны полученные данные с помощью программ RHC-Viewer, Eclipse. Разработан код в программе Ruchart на языке программирования Python для вычисления вариаций температурного профиля. И визуализация этих вариаций температурного профиля в программе OriginPro. В работе мы анализируем вариации температуры лидара вызванные гравитационными волнами на высотах от 20 до 60 км. Мы концентрируемся на ночных наблюдениях, поскольку в дневное время отношение сигнал/шум недостаточно велико для расчета температуры. Основной акцент работы сделан на сравнении параметров ВГВ до, во время и после внезапных стратосферных потеплений.

## **ОСОБЕННОСТИ СИНОПТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВО ВРЕМЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПОЖАРОВ В СИБИРИ**

**Томшин О.А.**, Соловьев В.С.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

В последние десятилетия потепление климата приводит к формированию более благоприятных условий для возникновения и развития природных пожаров как в региональном, так и в глобальном масштабе. Возникновение и скорость распространения лесных пожаров зависят от нескольких факторов: наличия горючего материала, погодных-климатических условий и источников возгорания. В данной работе проведено исследование эпизодов быстрого роста площади (БРП) лесных пожаров в Сибири и их связи с метеопараметрами за период 2001-2022 гг. по данным атмосферного реанализа ERA5 и спутниковых наблюдений. Для анализа пожарной активности использованы данные спектрометра MODIS (продукты MOD14A1 C6.1 и MCD64A1 C6). Продукт MOD14A1 C6.1 содержит ежедневные сведения об очагах активного горения с пространственным разрешением 1 км. Продукт MCD64A1 C6.1 содержит сведения о пройденных огнём территориях с пространственным разрешением 500 м. Для определения типа растительности на повреждённых огнём участках использовались данные о типах подстилающей поверхности из продукта MODIS MCD12Q1 C6. Для обнаружения и анализа событий БРП в работе используются модифицированные варианты методов, описанных в работе (Jain, Flannigan, 2021). На первом этапе осуществлялся отбор очень крупных гарей пожаров с площадью >5 тыс. га, тип растительности которых относился к лесным классам (>95% сгоревших пикселей). Затем для каждой

гари на основе спутниковых данных об изменении площадей пожаров в течение периода горения с помощью приближения о равномерном, круговом распространении пожаров, находилась ежедневная скорость продвижения фронта пожара. После этого, осуществлялся отбор событий БРП по каждой гари, определяемых как день, в течение которого скорость распространения фронта превышала 480 м/день. Далее для каждого события находились значения метеорологических параметров в диапазоне  $\pm 50^\circ$  по долготе и  $\pm 30^\circ$  по широте относительно центра соответствующей гари за период  $\pm 20$  дней относительно даты события. На заключительном этапе осуществлялось усреднение по относительному дню по всем событиям. Анализ результатов показал, что события БРП наблюдаются на фоне характерных метеорологических условий – положительных аномалий Z500, дипольной картины циркуляции в меридиональной компоненте ветра V300, положительных аномалий температуры приземного воздуха, отрицательных аномалий осадков и, как итог, общей повышенной пожароопасности. Наблюдаемая картина соответствует антициклонической циркуляции. Установлено, что атмосферные параметры начинают нарастать/снижаться относительно среднесезонных значений за 4-8 дней до событий, достигают максимума/минимума примерно в день события и постепенно возвращаются к среднесезонным значениям. Это обстоятельство в дальнейшем может быть использовано при прогнозировании возникновения подобных событий.

Работа выполнена в рамках государственного задания (номер государственного учёта НИОКТР 122011700172-2)

## **ОСОБЕННОСТИ ВАРИАЦИЙ МЕТАНА ПО ДАННЫМ ТРОПОМИ И НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НАД АЗИАТСКОЙ ЧАСТЬЮ РОССИИ**

**Стародубцев В.С.**

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

Проведены исследования особенностей вариации метана по данным спектрометра ТРОПОМИ (май-сентябрь 2018–2023 гг.) над Азиатской частью России. Для проведения сопоставления со спутником были выбраны 4 наземные станции, расположенные в Западной Сибири (Японско-Российский проект) и на побережье моря Лаптевых. По спутниковым данным были построены карты плотности покрытия пролетами спутника над исследуемой территорией. А также построены карты средних значений концентрации метана по алгоритмам восстановления данных: RemoTес и WFMD. Сопоставление спутниковых и наземных данных показало, что наблюдается тенденция к росту концентрации метана, сезонный ход имеет схожий характер.

## **ДИНАМИКА ЛОКАЛЬНОЙ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ХАНГАЛАССКОГО РАЙОНА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

**Тарабукина Л.Д., Козлов В.И.**

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

Представлена оценка динамики грозовой активности за 2009-2023 гг. по имеющимся архивам радиотехнических наблюдений, метеорологических данных и реанализу. Проведен предварительный анализ вариаций метеопараметров, характеризующих неустойчивое конвективное состояние атмосферы. По данным мировой сети грозопеленгации вариации средней годовой плотности грозовых разрядов (скорректированной за каждый час на коэффициент относительной эффективности детектирования сети), а также количества часов с грозой на территории 60,5-62 С, 124,4-130,3 В с 2009 по 2023 гг. демонстрировали положительную тенденцию с максимумом в 2022 г. преимущественно в юго-западной части района, что согласуется с наблюдениями на метеостанции в с. Исит ([URL: gr5.ru](http://gr5.ru)). При этом длительность грозового сезона росла с 2005 г по 2023 г. за счет смещения дат последних гроз к концу августа. В северо-восточной части района тенденции параметров не наблюдались и по инструментальным данным, и по аудиовизуальным наблюдениям (г. Покровск).

## **ТЕКУЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ. СОПОСТАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ**

**Сокольников А.В.**

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

Сопоставления наземных наблюдений и спутниковых данных полученных во время сияний и возникновений SAR-дуг. Представление событий и анализ.

# Секция астрофизика космических лучей

## СОВРЕМЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ГЛОБАЛЬНОЙ СЪЕМКИ

**Зверев А.С.**, Григорьев В.Г., Гололобов П.Ю., Стародубцев С.А., Крымский Г.Ф.

*Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

Наблюдаемые каждым нейтронным монитором мировой сети станций характеристики интенсивности космических лучей в основном определяются приемными свойствами конкретного регистрирующего прибора, его географическим положением и типом наблюдаемых вторичных частиц. Учет влияния этих параметров объединен под понятием методики приемного вектора, который был разработан в ИКФИА СО РАН в 1960-х годах. В дальнейшем, на основе ее использования был разработан метод глобальной съемки, позволяющий считать всю мировую сеть нейтронных мониторов одним прибором, ориентированным в каждый измеряемый момент времени в разных направлениях. Получаемые при этом характеристики распределения космических лучей позволяют построить глобальную картину явлений модуляции космических лучей в большом объеме межпланетной среды, который определяется величиной ларморовского радиуса частиц. В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с первичной подготовкой данных мировой сети нейтронных мониторов и реализацией собственно метода глобальной съемки.

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА СОЛНЕЧНО-СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ С ПОМОЩЬЮ СКРЕЩЕННЫХ МЮОННЫХ ТЕЛЕСКОПОВ**

**Гололобов П.Ю., Григорьев В.Г., Герасимова С.К.**

*Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

Работа посвящена исследованию динамики энергетического спектра солнечно-суточных вариаций интенсивности космических лучей по данным мюонных телескопов станций Якутск, Нагоя, Сао-Мартиньо и Хобарт за период с 1972 по 2022 гг. Вариации космических лучей, наблюдаемые в околоземном космическом пространстве, получены при помощи метода скрещенных телескопов, позволяющие исключать вариации атмосферного происхождения. На основе метода приемных векторов произведено моделирование параметров суточных вариаций, ожидаемых скрещенными направлениями телескопов. Сопоставление модельных расчетов с наблюдениями показывает, что в периоды положительной полярности в минимумах солнечной активности происходит значительное смягчение энергетического спектра солнечно-суточных вариаций. Обсуждаются полученные результаты.

# **ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПЛОТНОСТИ И АНИЗОТРОПИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ПЕРИОДЫ ФОРБУШ ПОНИЖЕНИЙ ПО ДАННЫМ МИРОВОЙ СЕТИ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ И МЮОННЫХ ТЕЛЕСКОПОВ**

**Гололобов П.Ю., Григорьев В.Г., Герасимова С.К., Стародубцев С.А.**

*Институт космических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

Наблюдаемое в околоземном космическом пространстве угловое распределение космических лучей (КЛ) характеризуется наличием как изотропной, так и анизотропной составляющей. Такое распределение имеет постоянный характер и непрерывно сохраняется в течение всего солнечного цикла и, как показывают наблюдения, удовлетворительно описывается первыми двумя сферическими гармониками. Параметры распределения и энергетические спектры гармоник достаточно хорошо изучены, определены ответственные за них физические механизмы. Однако во время различных возмущений солнечного ветра угловое распределение КЛ и его энергетические спектры могут быть сильно искажены и определяться конкретной возмущенной модулирующей структурой. Для исследования вариаций распределения КЛ во время таких быстротечных процессов, в 1960-х гг. в ИКФИА СО РАН была разработана метод глобальной съемки, основанный на данных измерений мировой сети нейтронных мониторов. Суть метода заключается в использовании наземных детекторов КЛ в качестве единого многонаправленного прибора, ориентированного в каждый измеряемый момент во все стороны небесного пространства. Это позволяет мгновенно определять распределения КЛ в области энергий характерных для нейтронных мониторов. В данной работе произведена попытка расширения метода глобальной съемки путем добавления в анализ данных наземных и

подземных мюонных телескопов. Показано, что такой подход предоставляет возможность осуществлять оценку динамики энергетических спектров плотности и анизотропии КЛ. Полученные результаты обсуждаются.

## **СООТНОШЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФОРБУШ-ПОНИЖЕНИЯ И УГЛОВОГО РАЗМЕРА КОРОНАЛЬНОГО ВЫБРОСА МАСС**

**Петухова А.С., Петухов С.И., Петухов И.С., Готовцев И.С.**

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

Предложена модель для описания восстановления спорадических форбуш-понижений, в которой существенную роль выполняет геометрия крупномасштабного магнитного поля. Установлена зависимость длительности восстановления форбуш-понижения от долготного размера возмущения, градиента скорости потока солнечного ветра и гелиодолготы источника выброса. Относительный вклад разных причин в длительность восстановления меняется от события к событию и зависит от значений параметров. Модельная длительность восстановления форбуш-понижения соответствует измерениям. Модель объясняет восточно-западную асимметрию длительности, также соответствующую измерениям. Анализ наблюдаемых форбуш-понижений с использованием модели показывает ее адекватность. Модель может быть применена для определения долготного размера межпланетного коронального выброса масс (трудноопределимый параметр) с использованием наблюдаемых параметров: длительности восстановления форбуш-понижения, градиента скорости солнечного ветра и гелиодолготы источника коронального выброса массы.

Работа проводится при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект FWRS-2021-0012).

## **ФОРБУШ-ЭФФЕКТ И ГЕОМАГНИТНАЯ БУРЯ 24-26 МАРТА 2024 Г.**

**Ковалев И.И.,** Сдобнов В.Е., Олемской С.В., Кравцова М.В.

*Институт солнечно-земных связей СО РАН, Россия, Иркутск*

По данным наземных измерений космических лучей на мировой сети нейтронных мониторов с привлечением неисправленных на температурный эффект данных комплекса мюонных телескопов в Якутске и мюонного годоскопа УРАГАН (Москва) модифицированным методом спектрографической глобальной съемки для события в марте 2024 года произведено разделение вариаций космических лучей на составляющие межпланетного, магнитосферного и атмосферного происхождения. Получены временные хода изотропного потока первичных частиц разных жесткостей, пич-угловой анизотропии космических лучей, ориентации ММП, приведены изменения жесткости геомагнитного обрезания в Иркутске и среднемассовой температуры атмосферы в пунктах наблюдений заряженных компонент.

## **ПОВЕДЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ В МЕЖПЛАНЕТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ, СОДЕРЖАЩИХ МАГНИТНЫЕ ОБЛАКА**

**Абунина М.А.**, Белов С.М., Белов А.В., Абунин А.А., Шлык Н.С.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова, Россия, Москва*

Изучается влияние магнитных облаков на вариации плотности космических лучей, регистрируемые нейтронными мониторами. Из данных о Форбуш-эффектах, обусловленных межпланетными возмущениями, содержащими магнитные облака (за период с 1967 по 2023 гг.), выделяются статистические закономерности и характерные особенности таких событий. Обсуждается поведение основных параметров солнечного ветра, космических лучей и геомагнитной активности во время прохождения магнитных облаков мимо Земли, а также характерные особенности внутренней структуры магнитных облаков. Показано, что вариации космических лучей тесно связаны с максимальными параметрами солнечного ветра и межпланетного магнитного поля внутри магнитных облаков. Установлено, что по распределению времени максимальных параметров солнечного ветра чаще всего максимальная скорость внутри магнитного облака регистрируется в начале, а максимальное значение межпланетного магнитного поля – как в начале, так и в середине события. Рассмотрены распределения по времени указанных параметров внутри магнитных облаков. Показано, что максимальные значения скорости солнечного ветра, величины межпланетного магнитного поля и индексов геомагнитной активности чаще регистрируются в передней части магнитного облака, в то время как минимальные значения температурного индекса, плотности и экваториальной составляющей анизотропии космических лучей могут наблюдаться в любой части исследуемой структуры.

Дополнительно исследуются временные характеристики межпланетных возмущений, содержащих магнитные облака, а именно, в какой их части регистрируются экстремумы параметров межпланетной среды, космических лучей и геомагнитной активности (до магнитного облака, внутри магнитного облака или после окончания магнитного облака). Показано, что максимальные значения скорости солнечного ветра и Кр-индекса геомагнитной активности чаще достигаются до магнитного облака. Внутри магнитного облака своих экстремумов достигают модуль межпланетного магнитного поля, Dst-индекс геомагнитной активности и вариации плотности космических лучей. Максимальные значения анизотропии космических лучей равновероятно могут регистрироваться как до магнитного облака, так и внутри него.

# **АНОМАЛЬНЫЕ                    КВАЗИРЕКУРРЕНТНЫЕ                    ВАРИАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В СЕНТЯБРЕ 2014 – ФЕВРАЛЕ 2015 ГОДОВ**

**Шлык Н.С., Белов А.В., Обридко В.Н.**

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В. Пушкова, Россия, Москва*

Исследована аномалия поведения галактических космических лучей в сентябре 2014 г. – феврале 2015 г., проявившаяся в значительной модуляции их потока с периодом, близким к периоду вращения Солнца. Проанализировано состояние солнечного магнитного поля, изменение параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля в указанный период. Обсуждаются причины возникновения долготной асимметрии в распределении галактических космических лучей во внутренней гелиосфере. Установлено, что исследуемый период делится на две части с различными физическими условиями на Солнце. Получены выводы об определяющем совместном влиянии спорадических и рекуррентных событий: многократно возобновляемых «магнитных ловушек», созданных последовательными корональными выбросами масс из одной долготной зоны, и аномально расширившимися полярными корональными дырами с усиленным магнитным полем.

## **БАЗА ДАННЫХ О ФОРБУШ-ЭФФЕКТАХ И МЕЖПЛАНЕТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ: СОЛНЕЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВОЗМУЩЕНИЙ**

**Белов С.М.**

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова, Россия, Москва*

База данных о Форбуш-эффектах (Belov A., 2008) и межпланетных возмущениях (FEID – Forbush-effects and Interplanetary Disturbances) разрабатывается группой ИЗМИРАН на протяжении нескольких десятилетий. На данный момент в ней содержится информация о более чем 8700 событиях, начиная с 1957 года. В основе изучения этих событий лежит анализ вариаций потока космических лучей (КЛ), рассчитанных с помощью Метода Глобальной Съёмки (Belov et al., 2018), по данным мировой сети нейтронных мониторов. Помимо параметров КЛ, в базе данных также представлены параметры межпланетной среды, а также для более чем 2000 событий определён солнечный источник. С недавнего времени всё это доступно любому исследователю в форме веб-приложения: [tools.izmiran.ru/feid/](http://tools.izmiran.ru/feid/). Интерфейс позволяет рассчитывать множество параметров событий, делать по ним выборки, производить статистический анализ, а также строить графики поведения параметров внутри отдельных событий. В докладе будет представлено короткое описание базы данных и ее нового интерфейса, особое внимание будет уделено процессу определения солнечных источников. Для получения данных об источниках возмущений, таких как: корональные выбросы массы, вспышки и корональные дыры используется множество исходных каталогов доступных в сети Интернет. В результате привязки подспудно создаётся новый совмещенный каталог явлений солнечной активности. В докладе будет рассмотрен процесс привязки источников во время составления каталога.

## **РЕГИСТРАЦИЯ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПОТОКЕ МЮОНОВ**

**Тимаков С.С.**

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия,  
Москва*

В работе приводится метод, позволяющий обнаруживать некоторые атмосферные явления посредством анализа потоков мюонов с различных углов прилета благодаря особой конфигурации мюонного годоскопа УРАГАН, расположенного в НИЯУ МИФИ. Метод основан на специальном отборе рядов скоростей счета потока мюонов с различных направлений и их сопоставлении между собой для нескольких супермодулей годоскопа, представляющих собой независимые детекторы мюонов. Поскольку поток мюонов зависит от характеристик атмосферы вдоль пути их следования, рассматриваемый метод позволяет обнаруживать некоторые атмосферные явления в момент их прохождения через зону наблюдения, а также оценивать направление на явление относительно детектора.

Для демонстрации возможностей метода приведены специальные круговые диаграммы – отклики – для различных атмосферных явлений (атмосферный фронт, волна), сопоставленные с данными со спутников, метеорологических радаров и архивом характеристик атмосферы GDAS. Обсуждаются возможные причины откликов, которые могут быть связаны как с градиентом характеристик атмосферы, так и с волной в атмосфере, смещающей слой генерации мюонов на высоте около 15 км.

# **ПРОТОТИП СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО МОБИЛЬНОГО МЮОННОГО ГОДОСКОПА ДЛЯ МЮОНОГРАФИИ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Целиненко М.Ю.**, Гуделев М.П., Компаниец К.Г., Мирхеев С.И., Пасюк Н.А., Петрухин А.А., Хомчук Е.П., Шутенко В.В., Яшин И.И.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва*

В настоящее время широкое распространение получил метод мюонографии (по аналогии с рентгенографией) внутренней структуры различных природных и искусственных объектов с помощью естественного потока мюонов космических лучей. Для реализации метода в НОЦ НЕВОД (НИЯУ МИФИ) разработан мобильный мюонный годоскоп (ММГ), конструкция которого представляет собой многоканальную детектирующую систему, состоящую из однопроекционных координатных плоскостей (ОКП) площадью около 1 м<sup>2</sup>.

Каждая ОКП состоит из двух слоев сцинтилляционных стрипов (96 шт. в каждом) на основе полистирола с добавками р-терфенила и РОРОР. Светосбор осуществляется с помощью спектросмещающих волокон (файберов) на кремниевые фотоумножители (SiPM). Внутри каждой ОКП слои сдвинуты относительно друг друга на половину ширины стрипа. Сигналы с SiPM считываются с помощью плат на базе 32-канальной ASIC Retiroc2A (6 плат на одну плоскость). Шесть однопроекционных координатных плоскостей сформированы в три пары с ортогональной ориентацией стрипов и закреплены на общей несущей раме с регулируемым углом наклона.

Для проверки работоспособности и эффективности регистрирующей системы ММГ был разработан и собран прототип, состоящий из 32 стрипов и

SiPM, собранных в едином корпусе с платой считывания на 32 канала регистрации. Прототип тестировался на супермодуле мюонного годоскопа УРАГАН в потоке мюонов с известными треками.

В докладе обсуждаются конструкция ММГ, система регистрации, характеристики регистрирующих элементов детектора, полученные в результате предварительного тестирования на стендах НОЦ НЕВОД, а также результаты тестирования прототипа регистрирующей системы на мюонном годоскопе УРАГАН.

# Секция приборы и техника эксперимента, прикладные задачи

## РАЗРАБОТКА РЕГИСТРАТОРА ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ

**Васильев А.А.**

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

Представлено устройство, разработанное для регистрации естественных электрических потенциалов. В разработке регистратора использовался микроконтроллер ATmega328. Это устройство может использоваться для мониторинга вариаций естественных электрических потенциалов грунта и деревьев.

Измерение естественных электрических потенциалов является важным инструментом для понимания многих природных процессов. В настоящее время измерения потенциалов, проводимые в лаборатории радиоизлучений ионосферы и магнитосферы ИКФИА СО РАН, осуществляются «ручным» способом. Данный регистратор позволит автоматизировать процесс измерений и сбора данных.

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО**

**Евсеев У.Н.,** Николашкин С.В.

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

Интерферометры Фабри-Перо широко используются во многих областях исследований – в спектроскопии, астрофизике, в геофизике, где требуется большая точность измерений температуры и смещений. Сложность использования интерферометра в области исследования свечения ночного неба и полярных сияний заключается в очень слабой интенсивности источников излучения. Поэтому, данные, которые получаются, бывают зашумленными и сложными для анализа и основной целью данной работы является увеличение отношения сигнал/шум. Для решения этой проблемы была разработана программа предварительной обработки данных, которая производит интегрирование полученной картины вокруг найденного центра интерференционной картины. В результате получается двумерное распределение интенсивности интерференционных контуров, по которым в дальнейшем будет производиться определение температуры излучающего газа по доплеровскому уширению его контура, а также скорости ветра по сдвигу контура.

Программа предварительной обработки данных интерферометра Фабри-Перо разработана на языке программирования Python и сокращает время и усилия, необходимые для ручной обработки данных, и предоставляет исследователям удобный формат информации для получения надежных результатов. Эта программа была протестирована с использованием различных данных интерферометра, что продемонстрировало ее универсальность и эффективность.

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ ШАЛ НА ПАКЕТЕ CORSICA

**Муксунов Н.Я.**

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

По сложившейся терминологии первичное излучение с энергией  $E_0$  выше примерно  $10^{14}$  эВ называется космическими лучами сверхвысоких энергий. Выделение этой области в отдельное направление в основном связано со специфической методикой исследований, основанной на регистрации и изучении свойств, образующихся при таких энергиях широких атмосферных ливней (ШАЛ). За счет ядерных и электромагнитных взаимодействий уже в верхних слоях атмосферы начинается и развивается вглубь лавинообразный процесс образования мощного потока вторичных элементарных частиц и коррелированного с ним электромагнитного излучения. Для самых больших энергий вблизи поверхности земли наблюдается  $10^{10}$  и более заряженных частиц, падающих практически одновременно на площадь в несколько квадратных километров. Метод ШАЛ на сегодня один из основных и светосильных в области  $10^{14}$  -  $10^{15}$  эВ, а при  $E_0 > 10^{17}$  эВ из-за очень низкой интенсивности является единственно возможным способом исследования первичного излучения.

В данной работе был использован программный пакет CORSIKA (COsmic Ray SIMulation for KAscade), предназначенный для полного моделирования развития широких атмосферных ливней. Где были рассчитаны ФПР для электронов, мюонов и гамма-квантов по моделям QGSjet-01-d, QGSjet-II-04, SIBYLL-2.1 и EPOS-LHC. В качестве модели низких энергий была использована FLUKA. За основой первичных частиц были взяты ядра железа (Fe). Также в этих трудах расчетные значения

сравниваются с экспериментальными, которые были измерены на якутской установке наземными сцинтилляционными детекторами в широких атмосферных ливнях (ШАЛ) с энергией  $E_0 \geq 10^{17}$  эВ за период 1977–2024 гг. Результаты показали, что наилучшее согласие эксперимента и теории наблюдается с моделями QGSJET-01-d и QGSJET-II-04. Из ФПР были исследованы доли электронов, мюонов и гамма-квантов на разных расстояниях относительно от оси ливня.

## **СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОДА РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ ЛИВНЕЙ ЯКУТСКОЙ УСТАНОВКИ ШАЛ**

**Боякинов А.Ф.**

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

В данной работе проводится составление блок-схемы, совместно с литературным обзором, программы регистрации и обработки ливней Якутской установки ШАЛ. Этот процесс поможет в будущем написать данную программу на другом языке программирования, кроме этого, возможно даже и упростить код программы.

# ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ СОБСТВЕННЫХ ШУМОВ ПРИЕМНИКА-РЕГИСТРАТОРА УЗКОПОЛОСНЫХ ОНЧ РАДИОСИГНАЛОВ

**Корсаков А.А.**

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

В г. Якутске с 2009 г организована регистрация амплитуды и фазы сигналов радиотехнической системы дальней навигации (РСДН-20) «Альфа», а также интенсивности радиошума на частотах 11904,762 Гц, 17/1344 МГц (используется близкая частота 12658,228 Гц) и 14880,952 Гц. Длительность прямоугольного окна ДПФ 2688 мкс (эффективная полоса  $f_{эфф} = 334,8$  Гц). Предполагается, что интенсивность радиошума в узкой полосе частот можно охарактеризовать значением амплитуды спектральной составляющей. Приемной антенной служит укороченный вертикальный штырь ( $h=4$  м, емкость 200 пФ). Оценка эффективной температуры антенны, обусловленной собственным шумом показала  $3,64 \times 10^9$  К (при  $f=4$  кГц) и  $1,02 \times 10^9$  К ( $f=50$  кГц), что как минимум на 3 порядка ниже значений минимально ожидаемых атмосферных помех (рекомендации МСЭ-R Р.372-11). По выборкам длительностью 6 минут (10000 значений) проведен анализ амплитудных распределений сигналов радиостанций и радиошума. Получены большие значения эксцесса и асимметрии, распределения амплитуд отличаются от нормального. Проведен анализ амплитудных распределений собственных шумов приемника-регистратора при закороченном на общую шину заземления входе предварительного усилителя (коэффициент передачи 27 дБ). Перцентиль 3,5% регистрируемых амплитуд атмосферного радиошума 14,881 кГц (в полосе  $f_{эфф} = 334,8$  Гц) для выборки 17 декабря 2013 г. в 3 UT составляет  $864 \times 10^{-6}$  отн. ед. Перцентиль 96,5% случайного измерения

амплитуды собственного радишума приемника при 14,881 кГц:  $817 \times 10^{-6}$  отн. ед. Уровень собственных радишумов приемника-регистратора позволяет проводить измерения интенсивности радишумов в узкой полосе на частотах РСДН-20 (уровень значимости  $p = 0,07$ ).

## **УСТРОЙСТВО ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЫ АСК-1**

**Готовцев И.С.**

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
СО РАН, Россия, Якутск*

Космические лучи - один из самых важных источников получения информации из космоса. И для того, чтобы получать достоверные данные из частиц без помех были придуманы и сконструированы оборудования. Одним из этих устройств является ионизационная камера АСК-1, у которого высокая чувствительность к малым изменениям интенсивности космических лучей. Для этого в АСК-1 используется метод компенсации токов. Данный метод позволяет автоматически компенсировать изменения ионизации в камере, вызванные колебаниями состояния газа в камере.

**Мероприятие организовано при поддержке СО НКО «Научно-образовательный фонд поддержки молодых ученых Республики Саха (Якутия)» НОФМУ <http://nofmu.ru>**