

2.2. Результаты текущих летных научных программ исследований и наблюдений

2.2.1. Институт космических исследований РАН

Результаты текущих экспериментов космических аппаратах «Марс-Экспресс», «Венера-Экспресс», «Интеграл» представлены в разделе 2.1.1.

2.2.2. Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

2.2.2.1. Усовершенствованный сканер цвета океана

Смирнов М.Т.¹, Тищенко Ю.Г.¹, Гектин Ю.М.², Акимов Н.П.², Соловьев А.М.²,
Копелевич О.В.³

*¹⁾ Фрязинский филиал Учреждения Российской академии наук
Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
г. Фрязино Московской области, tishchen@ire.rssi.ru*

*²⁾ ФГУП Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения,
Москва, dzz@rniikp.ru*

*³⁾ Учреждение Российской академии наук Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Москва, oleg@ocean.ru*

Введение

Результаты наблюдения Земли из космоса имеют важное научное и практическое значение. Изучение явлений и процессов на земной поверхности, включая энергоактивные зоны, и в биосфере океана, влияющих на изменения окружающей среды и климата, интенсивность природных катастроф, имеет большое значение для науки и человеческой деятельности. Спутниковые системы наблюдения дают возможность накопления данных для решения фундаментальных научных задач физики взаимодействия океана и атмосферы, состояния и динамики энергоактивных зон, а также для разработки прогностических моделей средне- и долгосрочных изменений климата, повышения достоверности прогнозов погоды, тенденций изменения состояния энергоактивных зон.

Развитие спутниковых методов открывает новые возможности непрерывного наблюдения за пространственно-временными изменениями характеристик подстилающей поверхности, включая поверхность океана и его поверхностный слой, а также атмосферы над океаном в региональных и глобальных масштабах.

Огромный объем информации об океане и атмосфере дают спутниковые сканеры цвета, по данным которых рассчитываются такие важные характеристики, как концентрация хлорофилла и первичная продукция, содержание атмосферного аэрозоля и параметры облаков (облачного покрова), оптические характеристики воды, в частности, показатели поглощения рассеяния и поглощения, определяющие распространение солнечного излучения в водной толще и альбедо океана, характеризующие содержание в воде взвешенных частиц и окрашенного органического вещества и являющиеся удобными параметрами биогеоэкологического мониторинга. Спутниковые измерения цвета вод позволяют проводить систематические наблюдения динамики происходящих изменений, в частности в структуре и функционировании прибрежных экосистем, предоставлять оперативную полезную информацию для промышленного рыболовства, контролировать качество вод в прибрежных зонах, наблюдать различные динамические процессы (распространение речных стоков, мезомасштабные вихри, изменчивость фронтальных

зон). Спутниковые датчики дают возможность осуществлять долговременные квазинепрерывные наблюдения, охватывающие весь земной шар.

Научная аппаратура

С целью отработки методов спутникового наблюдения акваторий в оптическом диапазоне спектра в ФГУП Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения (ФГУП РНИИ КП) разрабатывается новое многозональное сканирующее устройство (усовершенствованный сканер цвета океана - НА «Росс-1»). Разрабатываемая научная аппаратура - основной измерительный инструмент для реализации космического эксперимента (КЭ) «Росс-1», который направлен на биологический и экологический мониторинг морей и океанов и исследование физических процессов в приповерхностном слое.

К настоящему времени разработано и выпущено ТЗ и конструкторская документация на разработку и изготовление НА «Росс-1», изготовлен технологический образец прибора и проведены его автономные испытания. В текущем году планируется разработка и согласование ТЗ на адаптацию и доработку НА «Росс-1» для установки на космический аппарат.

Сформирован проект научной программы КЭ «Росс-1». Программа направлена на решение задач по дальнейшему развитию методов и средств дистанционного зондирования Земли из космоса, исследованию природы Мирового океана и основных климато-формирующих факторов в зоне взаимодействия океана и атмосферы. Планируемое проведение КЭ «Росс-1» - с 2012 г. Учитывая тот факт, что в настоящее время на орбите нет отечественных специализированных научных модулей, целесообразно использовать для решения упомянутых выше задач космические средства целевого назначения, такие, например, как космический комплекс оперативного гидрометеорологического мониторинга Земли «Метеор-М» № 3. Ожидается, что НА «Росс-1» будет установлен на КА «Метеор-М» № 3 (Рис. 1), запуск которого намечен на 2012 г. Принципиальная схема и геометрия сканирования представлена на Рис. 2.

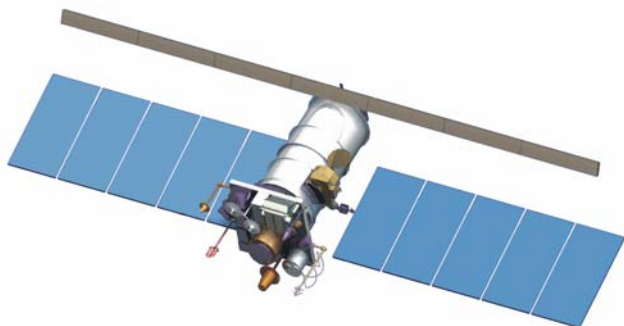


Рис. 1. Метеорологический спутник «Метеор-М»

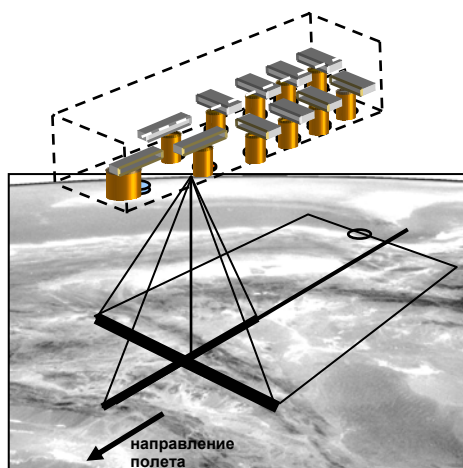


Рис. 2. Принципиальная схема и геометрия сканирования

Основные тактико-технические характеристики разрабатываемого усовершенствованного сканера цвета океана приведены в Таблице 1.

Таблица 1

Основные тактико-технические характеристики сканера цвета

Спектральные каналы* (8 каналов), мкм	0.402-0.422; 0.433-0.453; 0.480-0.500; 0.500-0.520; 0.545-0.565; 0.660-0.680; 0.725-0.765; 0.845-0.885
Ошибка определения границы спектрального диапазона, нм	± 5
Угол сканирования, град.	66 (± 33)
Полоса захвата (при съемке с орбиты 800 км), км	более 900
Угловое разрешение, мрад	0.65 ± 0.05
Пространственное разрешение в надире (при съемке с орбиты 800 км), км	0.5 ± 0.1
Режим работы время непрерывной работы, мин. интервал между сеансами, мин.	сеансный не более 30 не менее 20
Энергопотребление, Вт	< 100
Масса, кг	< 40

*Количество спектральных каналов, обеспечивающих угловую съемку не менее 3-х (границы спектральных диапазонов определяются в процессе разработки)

В основу конструкции создаваемого сканера цвета положен модульный принцип (каждый спектральный канал формируется самостоятельной оптико-электронной системой) [1].

Особенностью разрабатываемого сканера цвета является то, что объем полезной информации складывается не только за счет измерений в разных спектральных каналах, но и за счет измерений яркости восходящего излучения под разными углами при сканировании вдоль трассы полета спутника. Это важная дополнительная информация, которая позволит улучшить точность атмосферной коррекции, в частности, учитывать вклад солнечных бликов.

Первичные данные спутниковых наблюдений цвета океана - значения яркости восходящего излучения на верхней границе атмосферы. Для получения информации о параметрах океана из измеренных значений необходимо извлечь значения яркости излучения, вышедшего из водной толщи, что составляет задачу так называемой «атмосферной коррекции».

В Учреждении Российской академии наук Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН) успешно развивается новый подход к решению задачи атмосферной коррекции спутниковых оптических данных. Этот подход основан на одновременном определении вклада аэрозольного рассеяния и яркости излучения, вышедшего из водной толщи, по данным измерений в видимом и инфракрасном диапазонах [2]. Для атмосферной коррекции данных нового сканера цвета, помимо информации, получаемой из измерений в разных спектральных каналах, будут использованы данные измерений яркости восходящего излучения под разными углами при сканировании вдоль трассы полета [3]. Разрабатываемая методика будет верифицирована по данным одновременных измерений яркости восходящего излучения на верхней границе атмосферы спутниковым датчиком и яркости выходящего из воды излучения и характеристик аэрозоля с борта судна. Усовершенствование методики будет

проведено на основе выполненной верификации с использованием подспутниковых данных и данных численного моделирования.

Задачи исследований

С помощью НА «Росс-1» совместно с радиофизической научной аппаратурой (СВЧ радиометры, радиовысотометрическая система, СВЧ скаттерометр) будут проведены исследования природы Мирового океана и основных климато-формирующих факторов. Будет получена информация для решения целого ряда научных и практических задач:

- анализ оптических и биологических характеристик верхнего слоя океана, оценка бипродуктивности вод и потока углерода в эвфотическом слое;
- изучение элементов циркуляции и динамики примесей, в частности, распространения речных выносов и загрязнений;
- оценка проникновения светового излучения в водную толщу, альбедо океана и объемного поглощения в его верхнем слое для уточнения теплового баланса океана;
- разработка комплексных методов обработки и анализа данных о цвете вод, в том числе с привлечением данных СВЧ радиометров;
- развитие методов верификации разработанных методов и алгоритмов обработки спутниковых данных.

Модельные и численные расчеты, обработка экспериментальных данных будут проводиться на базе программно-аппаратных средств ИО РАН, а также Центра обработки и хранения космической информации Института радиотехники и электроники РАН, оснащенного высокопроизводительными серверами. Эффективность анализа результатов измерений будет обеспечена средствами активного архива данных Центра, размером около 1 ТБайт и каталогом, функционирующим под управлением СУБД ORACLE. Средства Центра имеют операционную совместимость с системой NASA EOSDIS и обеспечены высокопроизводительным каналом для выхода в глобальные сети обмена космической информацией по каналам Интернет.

Заключение

В результате реализации космического эксперимента «Росс-1» с использованием научной аппаратуры космического аппарата «Метеор-М» №3 будут разработаны новые методы обработки спутниковых данных о цвете вод, в частности с использованием данных, получаемых от других приборов, а также даны рекомендации по практическому применению и дальнейшему совершенствованию этих методов.

Будут получены новые данные об оптических, биологических и биогеохимических характеристиках морей и океана и физических процессах в верхнем слое водной поверхности.

Результаты исследований будут использованы в интересах космического приборостроения, развития методов спутниковой океанологии, а также при решении конкретных океанологических задач, связанных с биологией и физикой океана, взаимодействием океана и атмосферы, экологическим мониторингом морей России.

С помощью усовершенствованного сканера цвета океана будут получены качественно новые результаты, превосходящие нынешний уровень отечественных и зарубежных исследований. Результаты использования сканера в изучении водных пространств позволят существенно улучшить атмосферную коррекцию и биооптические алгоритмы. Полученные результаты будут использованы в задачах прогноза изменений окружающей среды и климата.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГУП РНИИ КП и ИО РАН за помощь и поддержку при подготовке материалов статьи.

Литература

[1] Н.П.Акимов, Ю.М.Гектин. Устройство для дистанционного получения изображений в широком угле обзора. Патент на изобретение №2298214, Бюл. №12, 2007.

- [2] O.V. Kopelevich, V.I. Burenkov, S.V. Ershova, S.V. Sheberstov, M.A. Evdoshenko. Assessment of optical characteristics of atmosphere and ocean by data from satellite ocean color sensors//SPIE Proceedings V.4678. Eight International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 2002, pp.332-343.
- [3] С.В. Шеберстов, С.В. Вазюля, О.В. Копелевич. Алгоритм использования информации, получаемой при сканировании вдоль трассы полета, для атмосферной коррекции данных спутникового сканера цвета//Сб. научн. статей, вып.6, М., ООО «Азбука-2000», 2009.

2.2.3. Московский инженерно-физический институт Институт космифизики

2.2.3.1. Международный Российско-Итальянский Проект «РИМ-ПАМЕЛА»

Высокоэнергичные электроны и позитроны в космическом излучении и темная материя

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Россия)
 Физический институт академии наук им. Лебедева (Россия)
 Физико-Технический институт им.Иоффе, (Россия)
 Государственный научно-производственный ракетно-космический центр
 "ЦСКБ-Прогресс", Россия
 Научный центр оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ), Россия
 INFN, Structure of Naples and Physics Department of University of Naples Federico II, Italy
 INFN, Structure of Bari and Physics Department of University of Bari, Italy
 INFN, Structure of Florence and Physics Department of University of Florence, Italy
 INFN, Structure of Trieste, Italy
 INFN, Structure of Rome Tor Vergata and Physics Department of University of Rome Tor Vergata, Italy
 KTH, Department of Physics, Sweden
 IFAC,I-50019 Sesto Fiorentino, Italy
 Physics Department of Universitat Siegen, Germany
 INFN, Laboratori Nazionali di Frascati, Via Enrico Fermi Italy

I. Введение

15 июня 2006 г. с космодрома Байконур был осуществлен запуск КА «Ресурс-ДК1» на околоземную эллиптическую орбиту с параметрами 600 км и 350 км, апогей и перигей орбиты соответственно, и наклоном орбиты $70,4^\circ$ (Рис.1). Установленная на ИСЗ основная аппаратура предназначалась для проведения фотографирования поверхности Земли. В качестве дополнительной научной нагрузки на ИСЗ установлен прецизионный магнитный спектрометр ПАМЕЛА. Эксперимент ПАМЕЛА осуществляется в рамках российско-итальянского Проекта «РИМ-ПАМЕЛА» с участием шведских и немецких ученых.

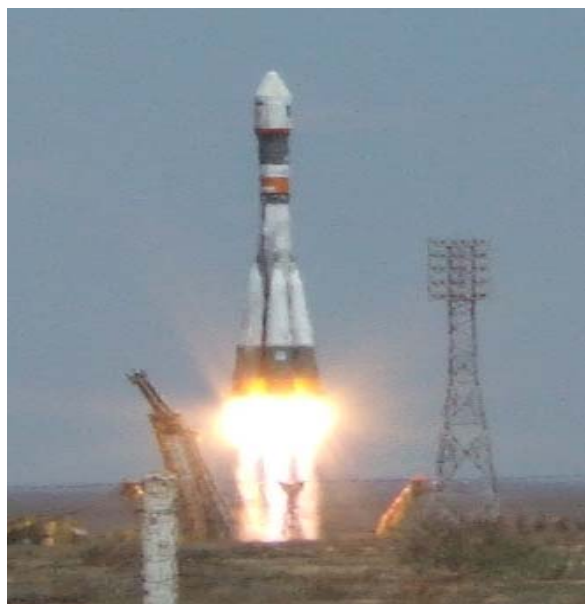


Рис.1: Запуск космического аппарата «Ресурс-ДК1»

С самого начала реализации Проекта «РИМ-ПАМЕЛА» были определены основные направления исследований и конкретные научные задачи:

1. Проблема барионной асимметрии Вселенной – поиск антиматерии (т.е. ядер антидейтерия и антигелия) в потоках первичного космического излучения;
2. Проблема природы темной материи, гипотетические части которой могут аннигилировать, в частности, на антипротоны и позитроны – исследование энергетических спектров антипротонов и позитронов в энергетическом диапазоне более 10 ГэВ;
3. Рассмотрение механизмов генерации и распространения первичных частиц в Галактике – прецизионные измерения спектров галактических протонов и легких ядер, электронов и позитронов с энергией до нескольких сотен ГэВ на нуклон;
4. Изучение механизмов генерации высокоэнергичных частиц в солнечных вспышках – исследование потоков высокоэнергичных частиц от солнечных вспышек;
5. Прикладной аспект фундаментальных исследований – изучение потоков высокоэнергичных заряженных частиц в околоземном космическом пространстве, в том числе и в радиационных поясах Земли.

II. Научная аппаратура

С целью решения поставленных задач был разработан и создан прецизионный магнитный спектрометр ПАМЕЛА. Физическая схема прибора ПАМЕЛА представлена на рис.2.

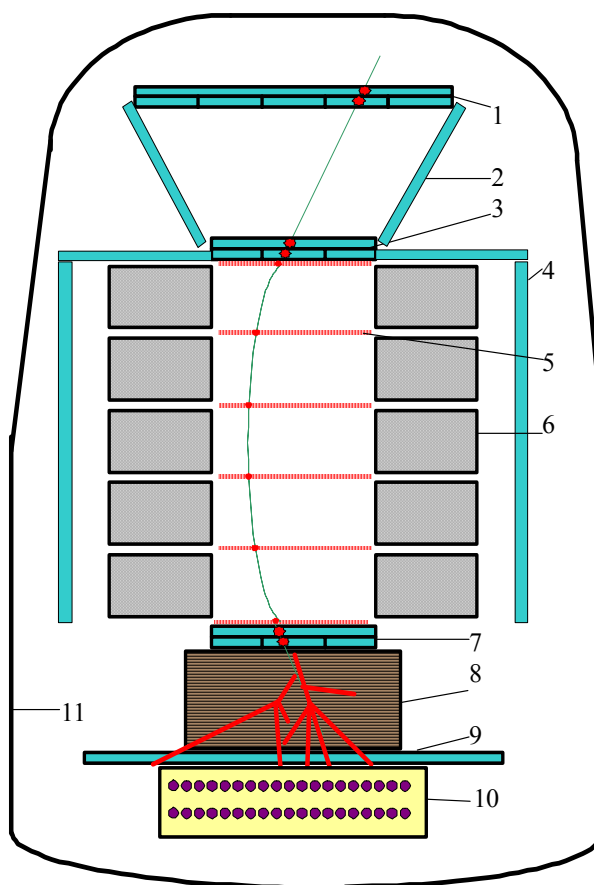


Рис.2: Физическая схема НА «ПАМЕЛА»

1, 3, 7- сцинтилляционная времяпролетная система; 2, 4 - сцинтилляционная охранный система; 5 - полупроводниковая стриповая координатная система (шесть двойных слоев); 6 - магнитная система (пять секций); 8 - полупроводниковый стриповый позиционно-чувствительный калориметр; 9 - сцинтилляционный ливневой детектор; 10 - нейтронный детектор; 11 – гермоконтейнер.

Основными детектирующими элементами прибора являются: триггерная система из сцинтилляционных счетчиков, позволяющая измерять направление и скорость частиц, магнитная трековая система, позволяющая измерять импульс (жесткость) частиц, позиционно чувствительный калориметр, позволяющий измерять энергию, выделяющуюся при взаимодействии частиц в калориметре, а также пространственную картину развития ливня, ливневый сцинтилляционный детектор, формирующий триггер для регистрации ливней, создаваемых частицами, проходящими через калориметр вне аппаратуры прибора, нейтронный детектор, регистрирующий нейтроны, возникающие при взаимодействиях частиц в калориметре; система антисовпадений из сцинтилляционных детекторов, позволяющая исключить частицы, проходящие прибор вне апертуры, или вызывающие взаимодействия до попадания в калориметр.

• Магнитный спектрометр (МС)

Устройство: магнитный спектрометр состоит из магнита, создающего постоянное магнитное поле напряженностью 1.3 Т, и трекера, представляющего собой 6 детектирующих плоскостей, разделенных секциями магнита; каждая такая плоскость состоит из 6 микростриповых кремниевых детекторов толщиной 300 мкм. Каждый из них состоит из стрипов толщиной несколько микрометров, расположенных в 2- взаимно

перпендикулярных направлениях. Размеры МС $132 \times 162 \times 445$, что создает геометрический фактор прибора $\sim 20.5 \text{ см}^2 \text{ ср}$.

Назначение: МС позволяет измерять ионизационные потери частицы в каждой стриповой плоскости, определять координаты пересечения трека с плоскостями и по ним восстанавливать жесткость частиц. Координатное разрешение составляет 3 мкм.

- **Калориметр**

Устройство: координатно-чувствительный калориметр состоит из 44 односторонних кремниевых детекторов, разделенных слоями поглотителя из вольфрама. Каждая плоскость имеет толщину 380 мкм и разделена на сегменты по 2.6 мм, в каждом из которых измеряется полное энергосодержание. Это позволяет полностью восстанавливать пространственную картину электромагнитного или адронного ливня. Толщина калориметра составляет 16.3 радиационных длин и 0.6 ядерных.

Назначение: калориметр служит для идентификации типа частицы по развитию ливня (по каскадным кривым), режекция адронов от лептонов может достигать 10^4 .

- **Время-пролетная система**

Устройство: состоит из 6 плоскостей сцинтилляционных детекторов, попарно расположенных над системой АС, над МС и под МС. Каждая пара плоскостей разбита на полоски, так, что полоски первой и второй плоскости ориентированы взаимно перпендикулярно.

Назначение: система сцинтилляционных счетчиков обеспечивает триггер, позволяет выделять аппаратные события, определять направление прилета и измерять скорость частиц, измерять ионизационные потери.

- **Система антисовпадений**

Устройство: система АС состоит из 4-х боковых детекторов, закрывающих магнитный спектрометр с каждой из сторон и одного верхнего детектора, все детекторы сделаны из пластикового сцинтиллятора; эффективность определена по космическим мюонам и составляет 99.9% для каждого детектора.

Назначение: система предназначена для исключения из анализа событий, пришедших вне апертуры прибора.

- **Нижний сцинтилляционный детектор и нейтронный детектор**

Устройство, применение: пластиковый сцинтиллятор расположен под калориметром и регистрирует частицы, вылетающие из него. Используется для выработки триггера при высоких энергиях ($> 100 \text{ ГэВ}$). Нейтронный детектор заполнен He^3 , служит для разделения лептонов и адронов до $10^{11} - 10^{13} \text{ эВ}$.



Рис.3: «ПАМЕЛА» - летная модель

Можно представить прибор ПАМЕЛА как многослойный детектор, позволяющий регистрировать проходящие через него заряженные космические частицы, измерять их траектории и энергетические потери. Вся эта информация, объемом порядка 5 кВ на одно событие, позволяет измерять знак заряда и заряд, скорость, импульс, энергию и массу частицы.

Основные физико-технические характеристики, получены расчетами Монте-Карло, калибровкой систем прибора на электронных, позитронных и протонных пучках ускорителя CERN. Все характеристики прибора проверяются постоянной калибровкой в полете.

Геометрический факто	21 см ² ср
Энергетические диапазоны измерений Протоны и антипротоны Электроны и позитроны Ядра и антиядра	0.08 – 180 ГэВ 0.05 – 150 ГэВ 0.1 – 200 ГэВ/нук.
Размеры	90 x 90 x 120 см ²
Масса	450 кг
Потребляемая мощность	350 Вт

III. Проведение измерений

Каждый день в центр приема информации с КА «РЕСУРС-ДК1» с прибора ПАМЕЛА поступает ~ 15 Гбайт, и к настоящему времени накоплено около 15 Тбайт сырой информации. После предварительного отбора выделено ~**10⁹** событий, в основном это протоны, в энергетическом диапазоне 0,1 ÷ 1000 ГэВ.

Магнитный спектрометр ПАМЕЛА продолжает функционировать и при прохождении радиационного пояса, поэтому значительная часть зарегистрированных частиц относится к околоземному космическому пространству, в том числе и к радиационному поясу Земли.

Download @orbit 3754 – 15/02/2007 07:35:00 MWT

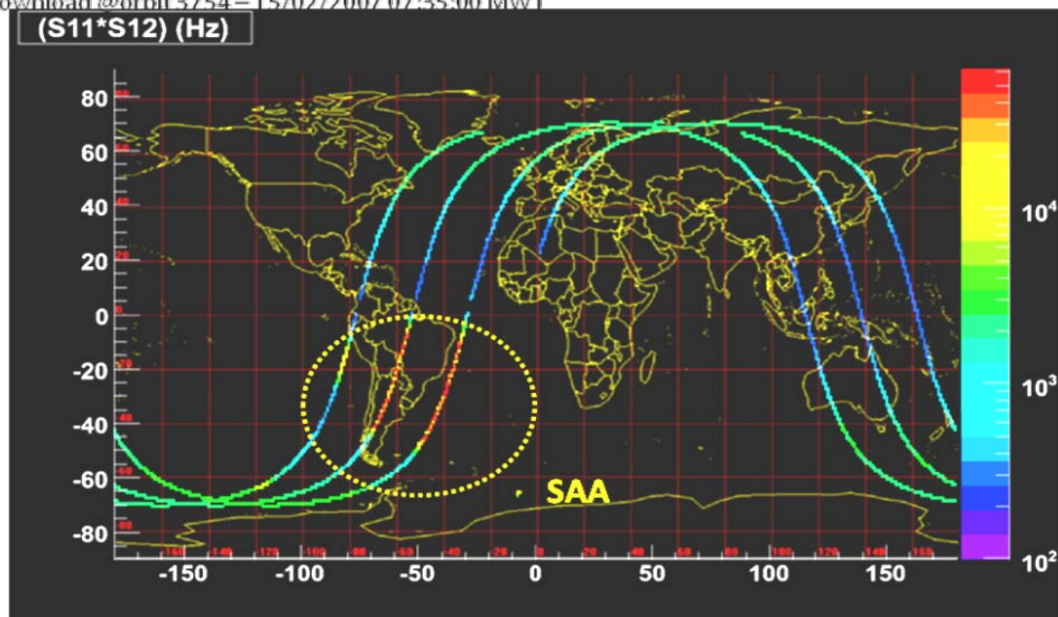


Рис.4: Орбиты КА «Ресурс ДК-1»

IV. Научные результаты эксперимента ПАМЕЛА

Результаты касающиеся измерений потоков античастиц – антигелия, антипротонов и позитронов, т.е. пункты 1 и 2 основной программы Проекта «РИМ-ПАМЕЛА», заключаются в следующем:

4.1. Поиск ядер антигелия

Максимальный предел отношения \overline{He}/He галактических потоков антигелия к гелию достигнут в аэростатных антарктических измерениях на магнитном спектрометре BESS составляет $\sim 3 \cdot 10^{-7}$ в энергетическом диапазоне 0,1 ÷ 10 ГэВ. Измерения спектрометром «ПАМЕЛА» на конец 2009 года составляют $\sim 1 \cdot 10^{-6}$, однако в более важном энергетическом диапазоне (0,1 ÷ 100) ГэВ. Отметим, что при взаимодействии космических лучей сверхвысокой энергии с межзвездным газом могут возникать т.н. вторичные антиядра. Поток вторичных антипротонов к протонам должен в этом случае составлять $\overline{p}/p \sim 10^{-5}$, а для $\overline{He}/He \sim 10^{-12}$. Если в галактическом излучении отношения окажутся больше – это будет означать существование дополнительного механизма генерации античастиц, например аннигиляции или распада частиц темной материи и т.д.;

4.2. Измерение потоков антипротонов, позитронов и электронов

Результаты измерения в эксперименте ПАМЕЛА отношения антипротонов к протонам в зависимости от энергии частиц представлены на рис.4. На этом же рисунке представлены расчеты этого отношения на основе модели GALPROP. Из рисунка следует, что экспериментальные данные и расчеты по моделям вторичного происхождения антипротонов находятся в хорошем согласии.

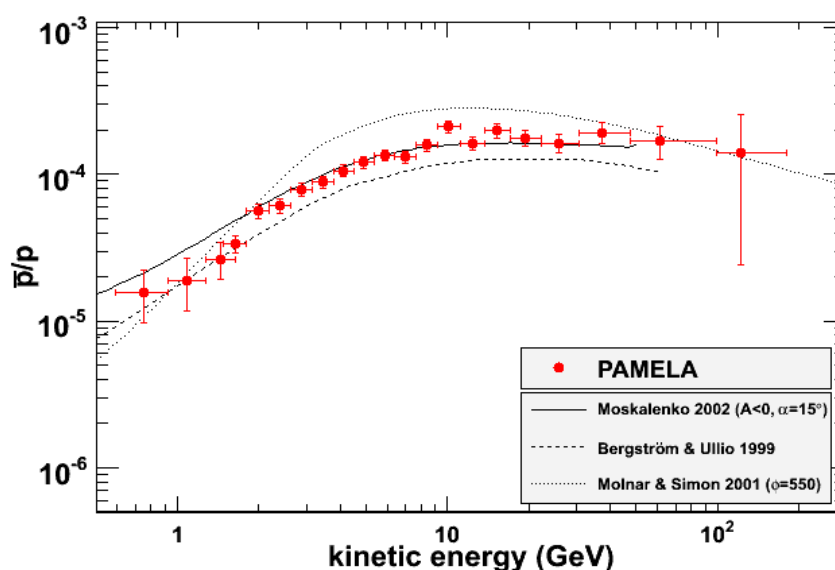


Рис.5: Отношение потоков антипротонов и протонов измеренное спектрометром ПАМЕЛА

Результаты экспериментальных модельных расчетов можно интерпретировать как подтверждение того, что основным источником галактических антипротонов является механизм возникновения их во взаимодействии с межзвездным газом и отсутствие дополнительного источника антипротонов в потоке галактических космических лучей.

4.3. Измерение потоков позитронов

Необходимо отметить, что позитроны регистрируются на уровне потока протонов на три-четыре порядка превышающем поток позитронов. Поэтому выделение позитронов представляет специальную, сложную программу проведения этих исследований. Программа включает следующие этапы выделения:

- Используются частицы с β близкой единице;
- Проводится сравнение импульса измеренного в магнитном поле спектрометра и выделенной энергии в калориметре (значение этих величин должны быть близки друг к другу);
- Используются события, в которых электронно-позитронный ливень начал развиваться в верхних слоях калориметра;
- Используется информация в предельном и поперечном развитии электронно-позитронного ливня, в частности электронно-позитронный ливень имеет выделенную центральную часть, где и сосредоточено основное деление энергии («мольеровский» радиус ливня);
- Используются показания нейтронного детектора, позволяющие отличить адронный и электромагнитный ливни по числу совпадающих ливень нейтронов;
- Используются результаты калибровки калориметра в монохроматических пучках электронов, позитронов, протонов, ускорителя CERN.

Все перечисленные методы позволяют получить режекцию протонов при измерении позитронов на уровне $\sim 10^{-5}$, но даже и в этом случае растет с энергией доля загрязнения протонами, но не более 10%.

На рис.5 представлено отношение $\frac{e^+}{e^+ + e^-}$ измеренное в эксперименте ПАМЕЛА и это же отношение, рассчитанное по программе GALPROP. Наблюдается значительное отличие экспериментального значения от расчета в диапазоне энергий 10÷100 ГэВ. При низких энергиях в несколько ГэВ различие связано с Солнечной модуляцией в течении периода измерений.

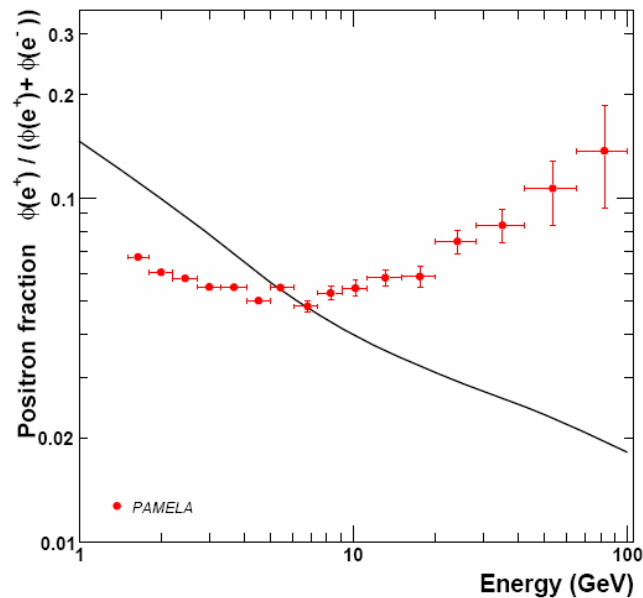


Рис.6: Отношение $\frac{e^+}{e^+ + e^-}$ измеренное спектрометром ПАМЕЛА

4.4 Таким образом, основные результаты эксперимента ПАМЕЛА по измерению потоков античастиц (антипротонов и позитронов) следующие:

1. Измеренное отношение потоков \bar{p}/p , как и энергетический спектр антипротонов, соответствует расчетам по программе GALPROP.

2. Измеренное отношение $\frac{e^+}{e^+ + e^-}$ противоречит расчетам по программе GALPROP, что требует наличия неизвестного ранее дополнительного источника позитронов.

3. Измерение энергетических спектров позитронов и электронов не противоречит предположению о дополнительном источнике, создающем в равной мере дополнительный поток электронов и позитронов. Т.е. этот источник генерирует электронно-позитронные пары.

V. Обсуждения

5.1. Измерение суммарного галактического потока электронов и позитронов до энергии \sim ТэВ в эксперименте ATIC, Fermi/LAT, H.E.S.S.

Совместный анализ результатов ATIC, Fermi/LAT и HESS показывает

- наблюдается уплощение спектра, начиная с сотни ГэВ,
- наблюдается широкий «бамп» от ~ 300 ГэВ до $600\div 800$ ГэВ,
- показатель энергетического спектра электронно-позитронной компоненты равен $\sim -3,05$, что значительно отличается от принятых ранее показателей, равных $\sim -3,2$ (например, в расчетах по программе GALPROP)

- наконец, в районе ~ 1 ГэВ наблюдается резкое падение интенсивности электронно-позитронной компоненты галактического космического излучения.

Однако остаётся одно важное замечание: не связано ли появление «бампов» и столь жёстко энергетического спектра электронно-позитронной компоненты с недостаточностью коэффициента режекции, равного $10^{-3}\div 10^{-4}$ для выделения потоков электронов и позитронов на фоне значительно превосходящих потоков протонов. А именно такой коэффициент имеется у телескопа LAT и, возможно, такой же у прибора ATIC, обладающих одним и одинаковым калориметрическим способом режекции фоновых потоков.

5.2. Интерпретация результатов измерения приборами ПAMEЛА, ATIC и Fermi/LAT высокоэнергичной электронно-позитронной компоненты галактических космических лучей.

Этот раздел – обзор интерпретации результатов, полученных в экспериментах ПAMEЛА, ATIC и Fermi/LAT широким кругом научных групп, работающих в области физики космических лучей, астрофизики, и т.н. новой физики, в том числе и физики тёмной материи. Интересно отметить, что каждая научная группа проводит поиск объяснений в своей области энергий, что и отражается в результатах опубликованных исследований. При этом каждый раз предполагается, что дополнительный источник, если он есть, генерирует одновременно электронно-позитронную пару.

а) Рассмотрение вопросов генерации и распространения космических лучей.

Очевидно также, что можно и необходимо продолжить поиск дополнительного источника электронов и позитронов, рассматривая источники, в которых может происходить одновременное ускорение и электронов и позитронов, или особенности механизмов распространения частиц. Однако, всегда надо иметь в виду второй результат эксперимента ПAMEЛА – отсутствие дополнительного потока антипротонов, что приводит к дополнительному ограничению на выбор механизмов ускорения электронов и позитронов.

б) Генерация электронно-позитронных пар в магнитосферах пульсаров.

Во вращающемся магнитном поле пульсара происходит ускорение частиц, в том числе и электронов. Кроме того в сильном магнитном поле пульсар и высокоэнергичные гамма- кванты могут непосредственно рождают электронно-позитронные пары. Т.е. появляется еще один процесс одновременного рождения электронно-позитронной пары. Со временем скорость вращения пульсара и интенсивность его магнитного поля падают.

Можно подобрать такие условия, когда будут одновременно и относительно большое магнитное поле и достаточно большая вероятность частицам электронно-позитронной пары выйти в межзвездное пространство, имея при этом энергию в сотни миллиардов эВ. Затем они распространяются в пространстве как и частицы от традиционных источников. Далее можно подобрать значения распространенности пульсаров в окосолнечном пространстве с расстоянием не более Килопарсека (с расстояния более 1 КПс высокоэнергичные электроны и позитроны не дойдут до Солнечной системы). Потери энергии очень велики), при том, что из семи известных гамма - пульсаров лишь только три находятся на расстояниях менее Килопарсека, что бы в конце концов объяснить «аномальный эффект ПАМЕЛЫ» и возрастания электронно-позитронного потока и его энергетического спектра в измерениях ATIC и Fermi/LAT.

Очевидно также, что можно и необходимо продолжить это рассмотрение. В частности попытаться извлечь дополнительную информацию из пространственных измерений зарегистрированных позитронов, электронов, или электронов- позитронов без разделения по заряду.

в) Аннигиляция и распад частиц тёмной материи с образованием электронно-позитронных пар.

Сегодня наибольший возбуждающий интерес представляет объяснение «аномального эффекта ПАМЕЛЫ» и возрастных потоков электронов и позитронов в экспериментах ATIC и Fermi/LAT, аннигиляцией и распадом тяжелых слабовзаимодействующих частиц вимпов, пока гипотетических частиц, кандидатов на роль темной материи.

На рубеже 20 и 21 веков после прецизионных измерений анизотропии космического микроволнового фона в обсерватории WMAP, стало ясно, что основная масса Вселенной ~ 25% сосредоточена в виде темной материи, а известное вещество – барионное, составляет сегодня не более 5%, остальные 70% приходятся на темную энергию. Если считать, что темная материя это частицы, то они могут быть либо тяжелыми – вимпами, либо очень легкими – аксионами. Вимпы могли возникнуть на ранней стадии эволюции Вселенной, когда температура возбуждения среды была чрезвычайно высокой, и могли выполняться условия великого объединения или даже супергравитации, и сегодня составляют реликтовый фон.

Так в Галактике средняя плотность темной материи составляет $\sim 0,3 \text{ ГэВ/см}^3$. Существует не одна модель или гипотеза, предполагающая вариант частицы – вимпа. Мне представляется две из них наиболее разработанными. Это модель существования симметрии, и далее супергравитации, в которой имеются частицы т.н. нейтралино (χ) и модель множественного пространства, в которой появляются узлы на координатных осях – т.н. может аннигилировать Калуца–Кляйновские бозоны B_{KK} . И те и другие частицы могут аннигилировать, образуя электронно-позитронные пары. Однако для бозонов этот путь более предпочтителен. С другой стороны, в последнее время стали рассматривать процесс распада. И опять для бозона B_{KK} прямой лептонный распад более предпочтителен, т.к. он имеет спин единицу. Распад нейтралино подавляется запретом по R-чётности. Казалось бы, есть все основания предполагать, что аннигиляция вимпов может объяснить «аномальный эффект ПАМЕЛЫ», данные измерений ATIC и Fermi/LAT. Однако, есть одно серьезное ограничение, связанное с малым сечением аннигиляции вимпов. Действительно, для того чтобы обеспечить существующую плотность тёмной материи, необходимо предположить, что сечение аннигиляции, умноженное на скорость частиц, должно равняться $\langle \sigma_{\text{анн.}} v \rangle = 10^{-26} \text{ см}^3/\text{с}$. А если рассматривать распад, то среднее время жизни должно быть $\sim 10^{-26} \text{ с}$. Однако, для объяснения наблюдаемых результатов необходимо иметь $\langle \sigma_{\text{анн.}} v \rangle$, как минимум на три порядка больше ($10^{-23} \text{ см}^3/\text{с}$). Т.е. необходимо существование механизма, увеличивающего это произведение. Такой механизм назван «буст» фактором (boost factor).

Предложены и рассмотрены два механизма.

Первый. Плотность тёмной материи (ρ) в Галактике неравномерна. В частности, она может возрастать к плоскости диска, к центру Галактики, могут существовать уплотнения и в Гало. В этом случае число актов аннигиляции, пропорциональное ρ^2 , будет существенно возрастать.

Второй. Эффект Зоммерфельда, при очень слабых скоростях аннигилирующих частиц сечение электрослабого взаимодействия может значительно возрастать. Этот эффект напоминает рост сечения Брайта-Вигнера и также может давать увеличение сечения в сотни и тысячи раз.

Выводы

Значительная часть работ посвящена возможности генерации частиц темной материи и методам поиска (сигнатуре) и выделения этих частиц.

При этом предполагается, что стандартная модель (SM) на основе электрослабого взаимодействия, а также сильное взаимодействие при нейтронном увеличении энергии взаимодействующих частиц (до 7 ТэВ в с.ц.м.) позволяет правильно оценить сечение генерации и массы частиц темной материи, которые должны быть между двумястами ГэВ и несколькими ТэВ.

Если действительно распад и аннигиляция частиц темной материи дают заметный вклад в потоки высокоэнергичных электронов и позитронов с энергией до нескольких ТэВ, то должно наблюдаться фоновое синхронное излучение. С этим, возможно, связано наблюдение линии 0,5 МэВ от центра Галактики, где происходит аннигиляция, останавливающихся позитронов, а так же избыток микроволнового излучения. На ряду с электронно-позитронными распадами, могут быть распады на нейтрино, гамма- кванты. В этом случае можно наблюдать потоки высокоэнергичных нейтрино, высокоэнергичных гамма- квантов. Солнце также может накапливать частицы темной материи и оказываются источником монохроматических высокоэнергичных нейтрино.

ПАМЕЛА открыла новую возможность поиска и изучения частиц темной материи по исследованию галактических потоков электронов и позитронов.

В любом случае найдут темную материю в экспериментах на LHC или нет, она есть во Вселенной, в окружающем нас мире и исследований состава космического излучения продолжаются. Продолжается полет спектрометра ПАМЕЛА и гамма - телескопа Fermi/LAT, подготавливаются новые эксперименты AMS-2, ГАММА-400 и др.

2.2.4. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Геофизические исследования

2.2.4.1. Спутниковые эксперименты «АРИНА» и «ВСПЛЕСК» по изучению геофизических эффектов в потоках высокоэнергичных частиц в магнитосфере Земли

1. Условия проведения экспериментов.

Разработанные в МИФИ сцинтилляционные спектрометры «АРИНА» и «ВСПЛЕСК» предназначены для изучения энергетических спектров и временных профилей всплесков потоков высокоэнергичных протонов и электронов.

Эксперимент «АРИНА» осуществляется на низкоорбитальном космическом аппарате «Ресурс-ДК» №1 с параметрами орбиты: высотой в пределах 350-600 км и наклоном 70°. На рис.1 приведена схема размещения основных узлов на борту космического аппарата. Спектрометр «АРИНА» установлен в приборном гермоконтейнере.

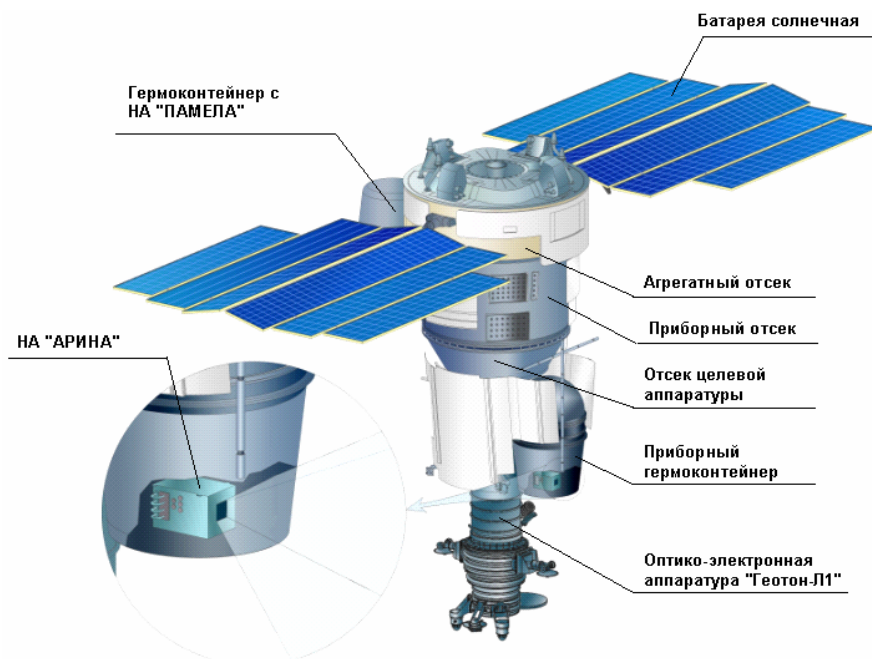


Рис.1. Схематическое изображение космического аппарата «Ресурс-ДК» №1.

Толща вещества в поле зрения спектрометра составляет около 0.5 г/см^2 . Основной ориентацией спутника является орбитальная. В этом случае ось спектрометра «АРИНА» перпендикулярна плоскости орбиты космического аппарата, и реализуются оптимальные условия для регистрации под радиационным поясом высыпающихся частиц.

Продолжительность эксперимента, как и срок функционирования космического аппарата на орбите, будет составлять не менее 3-х лет. Измерения потоков частиц проводятся непрерывно с июля 2006 г. по настоящее время.

Эксперимент «ВСПЛЕСК» осуществляется на Международной космической станции с августа 2008 года (параметры орбиты: высота около 350 км, наклонение 52°). Прибор «ВСПЛЕСК» установлен на внешней поверхности МКС, работает в условиях космического вакуума, ориентирован перпендикулярно плоскости орбиты МКС.

2. Краткое описание научной аппаратуры.

Специализированная аппаратура для регистрации всплесков высокоэнергичных электронов и протонов (спектрометры «АРИНА» и «ВСПЛЕСК») была разработана МИФИ [1]. Приборы полностью идентичны по физической схеме, имеют одинаковые физические параметры (геомфактор, энергетическое разрешение и др.), регистрируют и идентифицируют электроны (3-30 МэВ) и протоны (30-100 МэВ), измеряют их энергии и позволяют изучать энергетические спектры и временные профили потоков частиц. Технически и конструктивно спектрометры «АРИНА» и «ВСПЛЕСК» не являются идентичными, поскольку прибор «АРИНА» установлен в приборном гермоконтейнере космического аппарата, прибор «ВСПЛЕСК» на - внешней поверхности МКС (в условиях космического вакуума). Кроме того, в спектрометрах используются различные электрические интерфейсы для внутреннего и внешнего обмена информацией и для подачи команд управления работой НП.

Физическая схема приборов приведена на рис.2. Многослойный сцинтилляционный детектор (C1, C2,..., C10) является главной частью прибора.

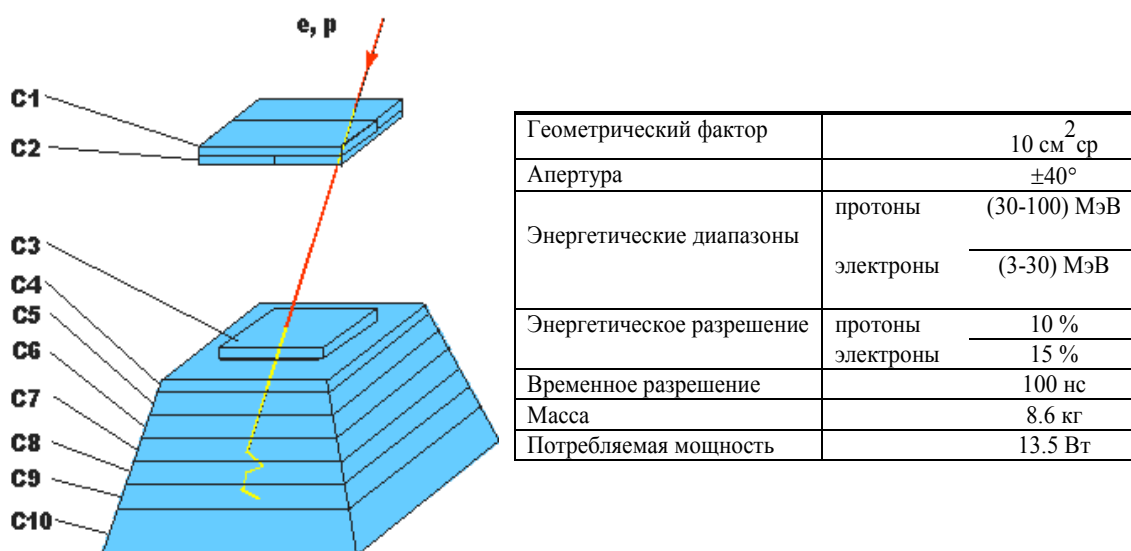


Рис. 2. Физическая схема и характеристики спектрометров «АРИНА» и «ВСПЛЕСК».

Заряженные частицы (электроны, протоны), движущиеся в прямом направлении («сверху вниз») и попадающие в апертуру прибора, проходят последовательно через детекторы С1, С2 С3 и т.д., теряют энергию и поглощаются в приборе. Частицы обратного направления и частицы прошедшие через весь прибор отсекаются детектором С10, включенным в антисовпадение. Таким образом, остановившиеся в веществе прибора частицы – электроны с энергиями 3-30 МэВ и протоны с энергиями 30-100 МэВ. Частицы идентифицируются по их энерговыделению (амплитуде сигналов с фотоумножителей) в каждом детекторе и пробегу в приборе. Энергия электронов и протонов измеряется по их пробегу в детекторах прибора. Спектрометры позволяют проводить измерения энергетических спектров частиц и их эволюцию, определять временные профили всплесков частиц с высоким временным разрешением, могут работать в высокоинтенсивных потоках частиц. Светосила приборов, определяемая конфигурацией детекторов (С1, С2 и С3), составляет величину порядка 10 см²ср, что в несколько десятков раз выше, чем светосила аппаратуры, с помощью которой были получены основные результаты по наблюдению сейсмических эффектов в потоках частиц.

Пример регистрации одного из всплесков частиц в околоземном космическом пространстве показан на рис.3.

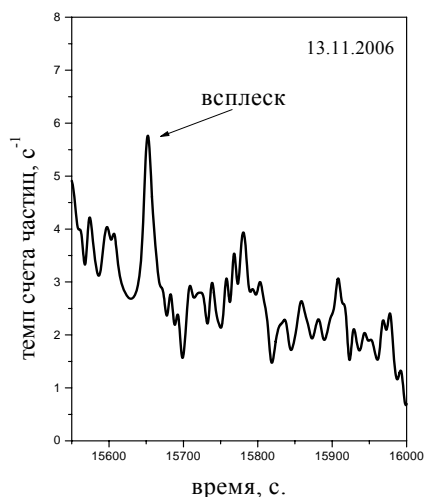


Рис.3. Регистрация всплеска высокоэнергичных электронов (L=2.2).

3. Изучение возмущений радиационного пояса.

В ряде работ [2, 3 и ссылки в них], выполненных в последние годы, как в России, так и за рубежом было показано, что всплески высокоэнергичных заряженных частиц связаны с локальными возмущениями радиационного пояса и могут иметь различную природу: магнитосферную, сейсмическую, грозовую и др. В каждом эксперименте были выявлены всплески частиц (на уровне 5 стандартных отклонений и выше) продолжительностью от нескольких секунд до нескольких десятков секунд: в эксперименте «АРИНА» - около 90 и в эксперименте «ВСПЛЕСК» - 23. Были детально изучены географические распределения частоты появления всплесков частиц в рассматриваемых экспериментах, Проведено сравнение с аналогичными распределениями, полученными в ранее выполненных работах (данные экспериментов «МАРИЯ-2», PET/SAMPEX и др.), и выявлены новые особенности в распределениях, показывающие, что значительная доля всплесков частиц связана с грозовой активностью. Проведен корреляционный анализ пространственных и временных характеристик зарегистрированных всплесков частиц и данных по сейсмическим событиям, подтвердивший на достаточной статистике (115 всплесков частиц) вывод о том, что ~20% всплесков частиц имеют сейсмическую природу. При этом они предшествуют за несколько часов землетрясениям с магнитудой (М) более 4 баллов и могут рассматриваться в качестве предвестников землетрясений. Анализ распределений сейсмических всплесков частиц и землетрясений по магнитуде позволил получить для спутниковых измерений оценку эффективности регистрации всплеска частиц – предвестника землетрясения в зависимости от силы землетрясения. Показано, что вероятность регистрации сейсмического всплеска частиц близка к 100% при $M \geq 7$ и резко убывает почти на два порядка при $M \sim 4$.

Список литературы.

1. Бакалдин А.В., Батищев А.Г., Воронов С.А. и др. «Спутниковый эксперимент «АРИНА» по изучению сейсмических эффектов в потоках высокоэнергичных частиц в магнитосфере Земли». Космич. исслед. 2007 г., т.45, №5, с. 471.
2. Voronov S.A., Galper A.M., Kirillov-Ugryumov V.G. et al. Registration of sporadic increase of high energy particle flux near Brasilia magnetic anomaly region // Proceedings 20th International Cosmic Rays Conference. 1987. V. 4. P. 451.
3. С.Ю. Александрин, А.В. Бакалдин, А.М. Гальпер, С.В. Колдашов и др. «Наблюдение солнечно-магнитосферных и геофизических эффектов в потоках электронов и протонов в спутниковом эксперименте «АРИНА». Изв. РАН Серия физическая, 2009, том 73, № 3, стр. 379.

2.2.5. Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

2.2.5.1. Исследования космических гамма-всплесков и мягких гамма-репитеров в экспериментах КОНУС-ВИНД и КОНУС-РФ

Е.П.Мазец, Р.Л.Аптекарь, С.В.Голенецкий, В.Н.Ильинский, Ф.П. Олейник, В.Д.Пальшин, Д.С. Свинкин, М.В. Уланов, Д.Д.Фредерикс

Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт
им.А.Ф.Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург

Аннотация

Проблема природы космических гамма-всплесков и механизма генерации экстремальных потоков электромагнитного излучения в их источниках является одной из самых актуальных задач фундаментальных космических исследований. Российско-американский эксперимент по исследованию космических гамма-всплесков и гамма-репитеров КОНУС-ВИНД успешно проводится на американском космическом аппарате «Винд» с помощью российской научной аппаратуры КОНУС с ноября 1994г. Благодаря высокой чувствительности, исключительно благоприятному месту наблюдений в межпланетном пространстве и оптимальной программе наблюдений эксперимент КОНУС-ВИНД является уникальным источником информации о временных и спектральных характеристиках гамма-всплесков в широком интервале энергий от 20 кэВ до 10 МэВ. Эти данные составляют неотъемлемую часть современных всеволновых исследований источников гамма-всплесков на космических аппаратах и сети наземных оптических и радиотелескопов и широко востребованы. Эксперимент КОНУС-РФ на околоземной солнечной обсерватории КОРОНАС-ФОТОН эффективно дополнял синхронными наблюдениями эксперимент КОНУС-ВИНД в 2009г.

1. Методика исследований.

Российско-американский эксперимент КОНУС-ВИНД по исследованию космических гамма-всплесков проводится с высокой научной отдачей на американском космическом аппарате «Винд» с ноября 1994г. с помощью научной аппаратуры КОНУС Физико-технического института им.А.Ф.Иоффе РАН. Аппаратура находится в исключительно благоприятных условиях для наблюдения гамма-всплесков. Орбита космического аппарата расположена вне магнитосферы Земли, обеспечивая тем самым возможность непрерывных наблюдений всей небесной сферы, стабильный радиационный фон, отсутствие помех от радиационных поясов и затенения Землей. Два детектора аппаратуры, представляющие собой высокочувствительные гамма-спектрометры, постоянно осматривают небесную сферу обеспечивая возможность регистрировать гамма-всплески, приходящие с любых направлений.

Научная аппаратура эксперимента «КОНУС-РФ» представляла собой сцинтилляционный гамма-спектрометр, состоящий из двух идентичных детекторов гамма-квантов и электронного блока для регистрации и предварительной обработки сигналов детекторов. Каждый детектор содержал спектрометрический сцинтилляционный кристалл NaI(Tl) диаметром 130 мм и высотой 75 мм, помещенный в тонкостенный алюминиевый контейнер с бериллиевым входным окном и выходным окном из свинцового стекла высокой прозрачности для защиты от фона космического аппарата в мягкой области спектра. Такой детектор, аналогичный по конструкции и размерам детекторам аппаратуры КОНУС-ВИНД, обеспечивает низкий энергетический порог регистрации излучения от 10 кэВ, диапазон регистрации гамма-квантов до 10 МэВ с энергетическим разрешением 8,5 – 9,0 % на линии 660 кэВ Cs137 и чувствительность обнаружения всплесков на уровне 10^{-7} эрг см⁻².

Эксперимент «КОНУС-РФ» проводился на солнечной космической обсерватории «КОРОНАС-ФОТОН» с января по декабрь 2009г. на околоземной орбите с наклоном 82,5 градусов и удалением от Земли 547-592 км. Космический аппарат был стабилизирован относительно оси, направленной на Солнце, с точностью несколько угловых минут. Детекторы КОНУС-РФ были размещены на космическом аппарате таким образом, что ось поля зрения одного из детекторов была направлена на Солнце. Второй детектор осматривал анτισолнечную небесную полусферу. Организация измерений

характеристик гамма-всплесков в эксперименте КОНУС-РФ является развитием подходов и методов, использованных в эксперименте КОНУС-ВИНД. Она характеризуется значительно большей информативностью благодаря использованию в аппаратуре современной элементной базы на основе сигнальных цифровых процессоров, прецизионных аналого-цифровых преобразователей с малым «мертвым» временем и микросхем оперативной памяти большой емкости. В режиме ФОН в каждом детекторе проводились измерения интенсивности космического гамма-излучения в двенадцати энергетических интервалах в диапазоне энергий 10 кэВ – 1 МэВ с временем накопления 1 сек и в десяти энергетических интервалах в диапазоне энергий 280 кэВ – 10 МэВ с временем накопления 4 сек. Одновременно в режиме ФОН осуществляются детальные измерения спектров излучения в двух энергетических диапазонах 10 кэВ – 1 МэВ и 280 кэВ – 10 МэВ, которые разбиты на 112 и 154 квазилогарифмических канала соответственно. Время накопления спектров в режиме ФОН составляло 1 минуту. В режиме ВСПЛЕСК интенсивность излучения измерялась в тех же энергетических интервалах с временным разрешением от 2-х мсек до 64-х мсек. Многоканальные спектры в режиме ВСПЛЕСК измерялись в тех же энергетических диапазонах, как и в режиме ФОН, но с временным разрешением от 100 мсек до 2-х сек.

Эксперимент КОНУС-ВИНД является в настоящее время уникальным источником наиболее полных данных о временных, спектральных и энергетических характеристиках космических гамма-всплесков в широкой области энергий от 20 кэВ до 10 МэВ.

2. Эксперимент КОНУС-ВИНД как неотъемлемая часть всеволновых исследований космических гамма-всплесков.

Благодаря широкому энергетическому диапазону, оптимальной программе регистрации основных параметров гамма-всплесков и возможности обзора всей небесной сферы в условиях межпланетного пространства эксперимент КОНУС-ВИНД стал неотъемлемой составной частью всеволновых исследований космических гамма-всплесков, которые проводятся на широкой сети наземных и космических телескопов по данным оперативной и точной локализации источников всплесков телескопом BAT миссии НАСА СВИФТ.

GRB080721. Интенсивный многоимпульсный всплеск исследовался в синхронных наблюдениях телескопа БАТ (СВИФТ) и КОНУС-ВИНД. Это позволило получить данные о спектральных характеристиках излучения в широком диапазоне энергий от 15 кэВ до 7 МэВ. Кривые яркости, полученные в синхронных наблюдениях, приведены на рис. 1. На рис. 2 показаны результаты совместной обработки спектральных измерений. Данные гамма-спектрометра КОНУС-ВИНД являлись основными для анализа собственной фазы гамма-всплеска – определения энергетических и спектральных характеристик. Совместное фитирование спектральных данных КОНУС-ВИНД и БАТ-СВИФТ обеспечило надежные оценки потока излучения в широком диапазоне энергий. Интенсивные наблюдения послесвечения гамма-всплеска сетью наземных и космических телескопов продолжались 36 дней после обнаружения источника всплеска на красном смещении $z = 2,6$ и позволили установить нижний предел на угол коллимации излучения, равный $7,3$ градуса. В сочетании с интегральным потоком энергии гамма-всплеска, определенным по данным КОНУС-ВИНД и БАТ-СВИФТ, это позволило установить нижний предел на полное энерговыделение всплеска в гамма-лучах $= 9,9 \times 10^{51}$ эрг. Такое энерговыделение является одним из самых высоких когда-либо измеренных для гамма-всплесков.

GRB050717. Результаты совместных наблюдений спектральных характеристик этого длинного гамма-всплеска телескопом БАТ миссии СВИФТ и аппаратурой КОНУС-ВИНД приведены на рис. 3. Этот всплеск вызвал особый интерес исследователей из-за рекордной пиковой энергии $E_p = 2400 \text{ кэВ}$.

GRB080319B. Усилиями большого международного коллектива наблюдателей был получен наиболее подробный портрет гамма-всплеска за все время с момента открытия этого необычного астрофизического явления. Источник всплеска 19 марта детально исследовался на сети наземных и космических телескопов, причем наблюдения охватили 11,5 порядков величин по длинам волн от радиоизлучения до гамма-квантов. По времени они начались за 30 минут до начала всплеска и продолжились в течение нескольких недель, что позволило проследить за всеми стадиями его послесвечения и сопоставить их с рядом модельных представлений.

Гамма-всплеск был оперативно и точно локализован телескопом БАТ миссии НАСА СВИФТ и его координаты в режиме реального времени были переданы на Землю. Особо благоприятная ситуация сложилась для 2-х патрульных оптических телескопов с широким полем зрения, установленных в Чили. За 30 минут до нового события они начали изучение предыдущего гамма-всплеска GRB080319A. Новое событие оказалось расположенным всего на расстоянии 10 угловых градусов и его исследование началось немедленно. Первым его зарегистрировал польский телескоп «Pi of the Sky». Его данные показали, что за 15 секунд яркость всплеска достигла значения 5,5 звездной величины. На ночном небе такое событие доступно для наблюдения невооруженным человеческим глазом. Такой яркости в оптическом диапазоне источник гамма-всплеска наблюдался впервые. Второй телескоп «ТОРТОРА» Специальной астрофизической обсерватории РАН зарегистрировал кривую яркости этого всплеска с недостижимым ранее временным разрешением 100 мсек, что позволило впервые провести детальное сравнение оптической светимости источника всплеска с его гамма-излучением.

Российский гамма-спектрометр КОНУС-ВИНД позволил определить энерговыделение в источнике и получить детальную картину гамма-излучения всплеска в широкой области энергий, которая выявила сложную, зависящую от энергии структуру спектральной переменности излучения, длившегося примерно минуту (рис.5). Сравнение данных эксперимента КОНУС-ВИНД и наблюдений телескопом ТОРТОРА показывает, что основная фаза оптической активности и интенсивного гамма-излучения всплеска начинаются и заканчиваются примерно в одно и то же время, предоставляя убедительное доказательство, что обе компоненты происходят из одной физической области. Результаты исследований были опубликованы в журнале Nature.

3. Исследования мягких гамма-репитеров.

Важный для физики гамма-репитеров результат связан с исследованием вспышечной активности нового источника мягких повторных всплесков SGR 0501+4516, открытого в августе 2008г. телескопом БАТ(СВИФТ). Пять интенсивных всплесков от нового гамма-репитера были зарегистрированы гамма-спектрометром КОНУС-ВИНД (рис.6). Изучение временных историй и результатов многоканального спектрального анализа показали, что источник ведет себя как типичный гамма-репитер. Длительность всплесков не превышала 0,75 с и их спектры при энергиях выше 20 кэВ хорошо описывались моделью тормозного излучения оптически тонкой плазмы с $kT \sim 20\text{--}40 \text{ кэВ}$. Важной особенностью нового репитера, зарегистрированной в эксперименте КОНУС-ВИНД, явилась сильная спектральная переменность излучения всплесков (рис.7). Подобная корреляция жесткости излучения повторных всплесков и их интенсивности ранее наблюдалась только для гамма-репитера SGR1627-41 также в эксперименте КОНУС-ВИНД в 1998г, что может

свидетельствовать о сходных особенностях этих двух источников. Величины максимальных потоков энергии для всех пяти наблюдавшихся в эксперименте КОНУС-ВИНД повторных всплесков (рис. 8) намного выше, чем такие же величины для большинства повторных всплесков от других известных галактических гамма-репитеров, что свидетельствует об относительно небольшом расстоянии до источника $\sim 1,5$ кпк.

Еще одним примером эффективности подходов, используемых в экспериментах КОНУС, может служить открытие нового мягкого гамма-репитера SGRJ0418+5729, которое было инициировано детальными временными профилями, полученными в эксперименте КОНУС-РФ. 5 июня 2009 года детекторы GBM обсерватории Ферми, детектор КОНУС-РФ обсерватории КОРОНАС-ФОТОН (рис. 9 и 10) и телескоп БАТ обсерватории СВИФТ зарегистрировали слабый короткий мягкий всплеск, похожий на всплеск мягкого гамма-репитера. Локализация всплеска, выполненная прибором GBM, ошибочно приписала этот всплеск известному гамма-репитеру SGR J0501+4516. И только локализация всплеска посредством триангуляции, выполненная по данным КОНУС-РФ, Ферми-GBM и Свифт-БАТ, позволила установить, что положение источника всплеска не соответствует ни одному из 6 известных гамма-репитеров, и найти при наземном анализе данных телескопа БАТ новый источник в триангуляционном боксе ошибок, тем самым установив его точные координаты (рис.11). Источник получил имя SGR J0418+5729. Последующее обнаружение рентгеновских пульсаций с периодом 9,08 сек телескопом RXTE подтвердило природу нового источника как мягкого гамма-репитера. Открытие нового, 7-го по счету, гамма-репитера при пороговом детектировании такого слабого всплеска дает основания предполагать, что существует большее число таких слабых гамма-репитеров (недетектируемых если только они не находятся относительно близко к Земле) и их число возможно превышает популяцию ярких гамма-репитеров.

5. Заключение

В заключение следует подчеркнуть, что в ФТИ им. А.Ф. Иоффе создана надежная и адекватная задаче исследования космических гамма-всплесков аппаратура КОНУС. Российско-американский эксперимент КОНУС-ВИНД по важности, качеству и полноте получаемой информации выдвинулся на передовые позиции в исследованиях экстремальных взрывных явлений во Вселенной.

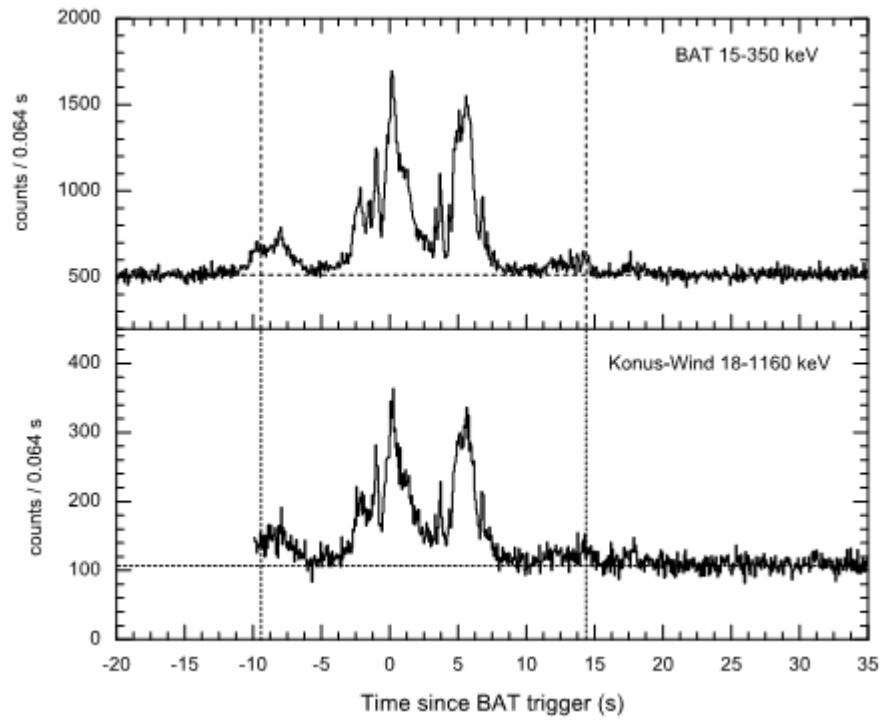


Рис. 1. Кривые яркости гамма-всплеска GRB080721 по данным синхронных наблюдений прибором BAT миссии СВИФТ и аппаратурой КОНУС-ВИНД

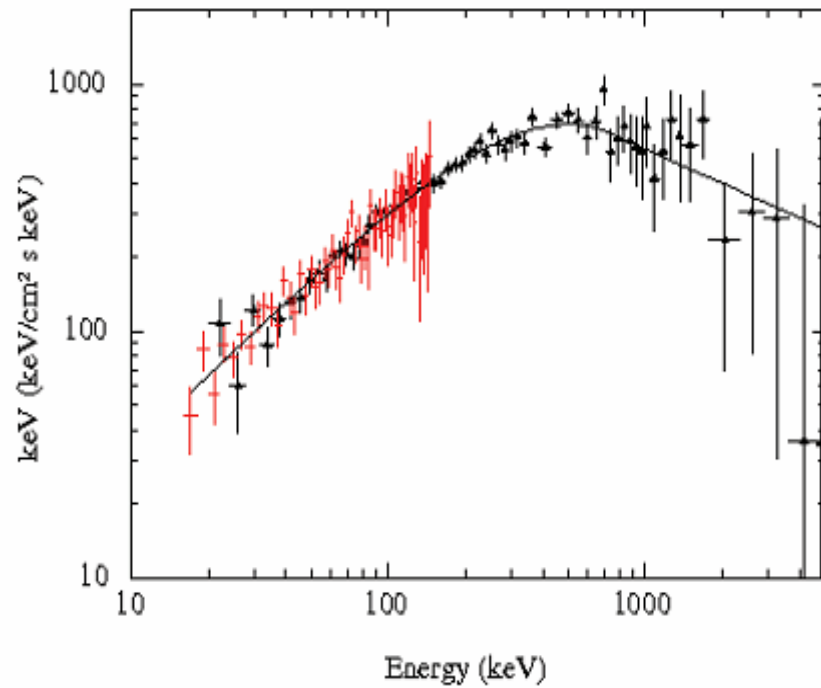


Рис. 2. Результаты совместного фитирования данных спектральных измерений гамма-излучения всплеска GRB080721 приборами BAT (СВИФТ) в интервале 15-350 кэВ и КОНУС-ВИНД в интервале 21 кэВ – 7 МэВ.

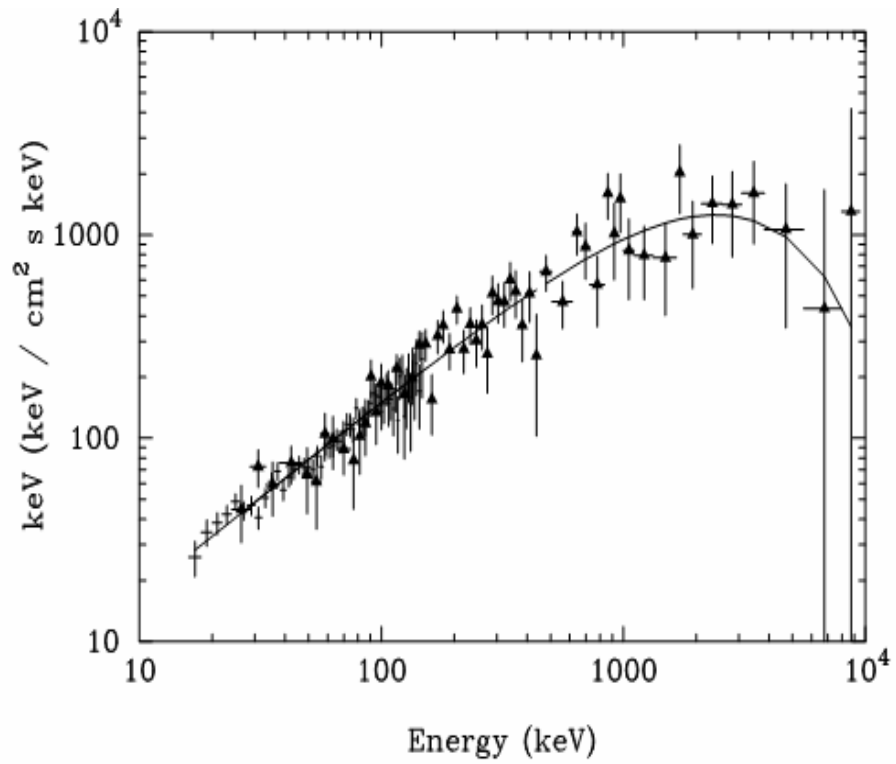


Рис. 3. Совместный спектральный анализ GRB050717 по данным эксперимента БАТ (СВИФТ) в диапазоне 15 – 350 кэВ и КОНУС-ВИНД в диапазоне 21 кэВ – 1300 кэВ.

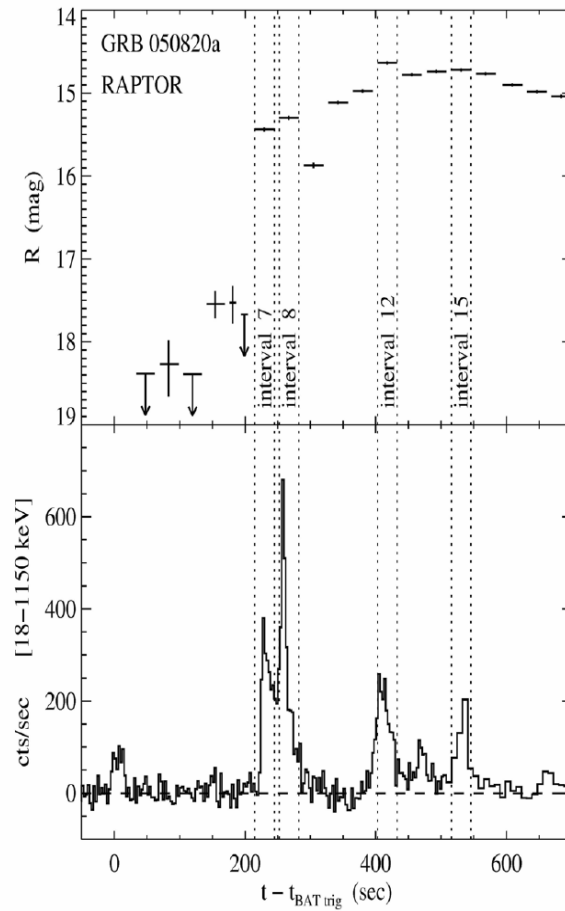


Рис.4. Сравнение кривой яркости оптического излучения гамма-всплеска GRB050820A, полученной телескопом RAPTOR Лос-Аламосской лаборатории (вверху) и кривой яркости гамма-излучения по данным эксперимента КОНУС-ВИНД.

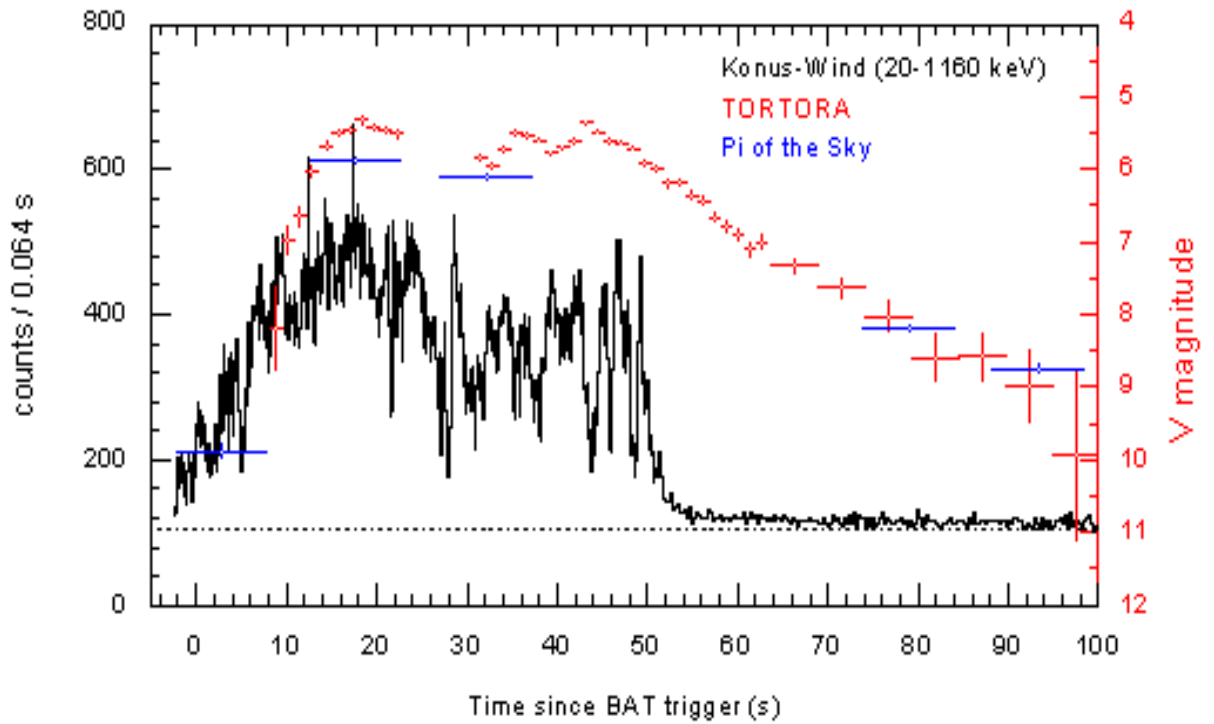


Рис. 5. Кривая блеска в гамма-лучах (эксперимент КОНУС-ВИНД) и в видимой области спектра (телескопы TORTORA (CAO РАН) и «Pi of the Sky») для гамма-всплеска GRB080319B

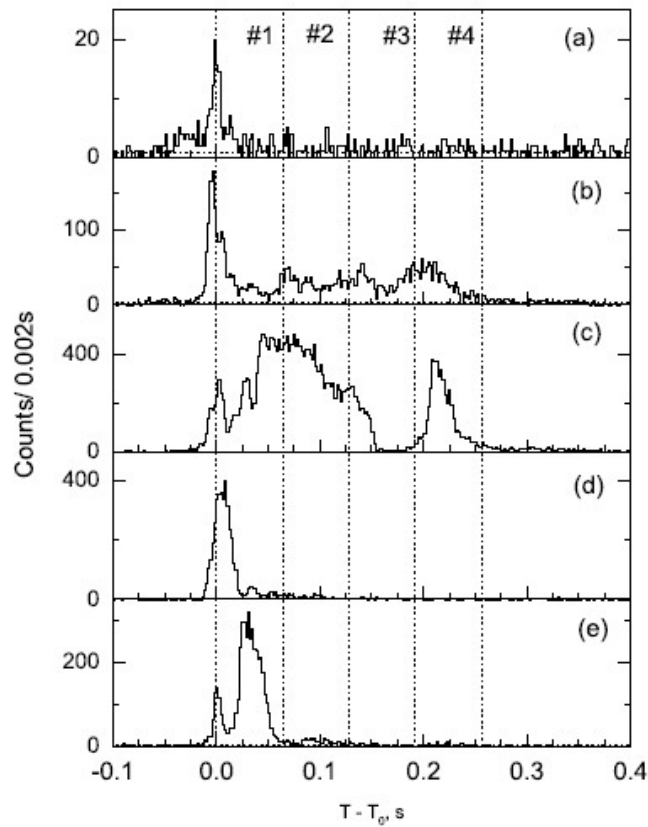


Рис. 6. Кривые яркости повторных всплесков от нового гамма-репитера SGR0501+4516 по данным эксперимента КОНУС-ВИНД 23 – 25 августа 2008г.

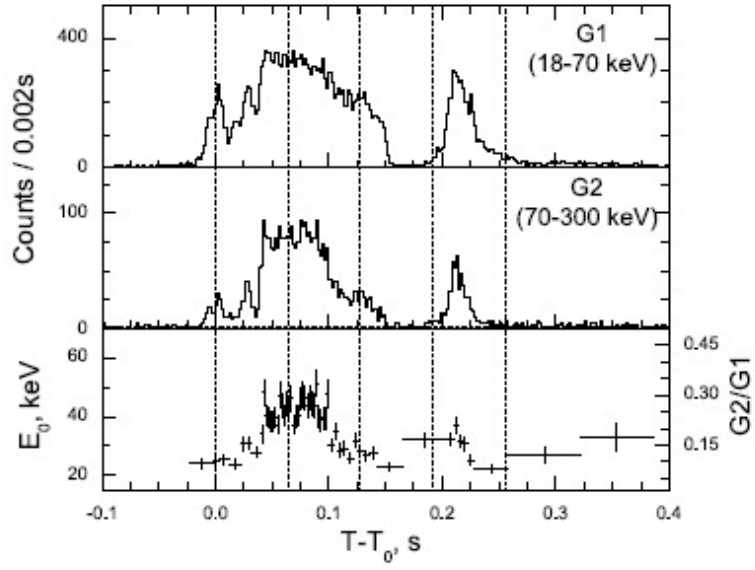


Рис. 7. Данные о вариациях жесткости в ходе наиболее интенсивного повторного всплеска нового гамма-репитера SGR0501+4516 по наблюдениям в эксперименте КОНУС-ВИНД

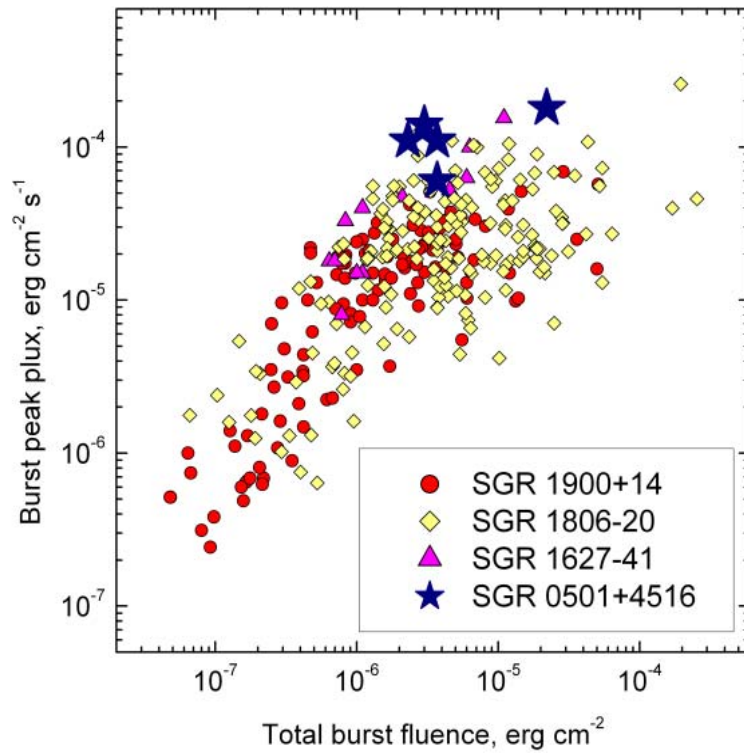


Рис. 8. Данные об энергетике нового гамма-репитера SGR0501+4516 в сравнении с результатами наблюдений других репитеров в эксперименте КОНУС-ВИНД. Все величины в диапазоне 20 – 200 кэВ и пиковые потоки на шкале 2 мс.

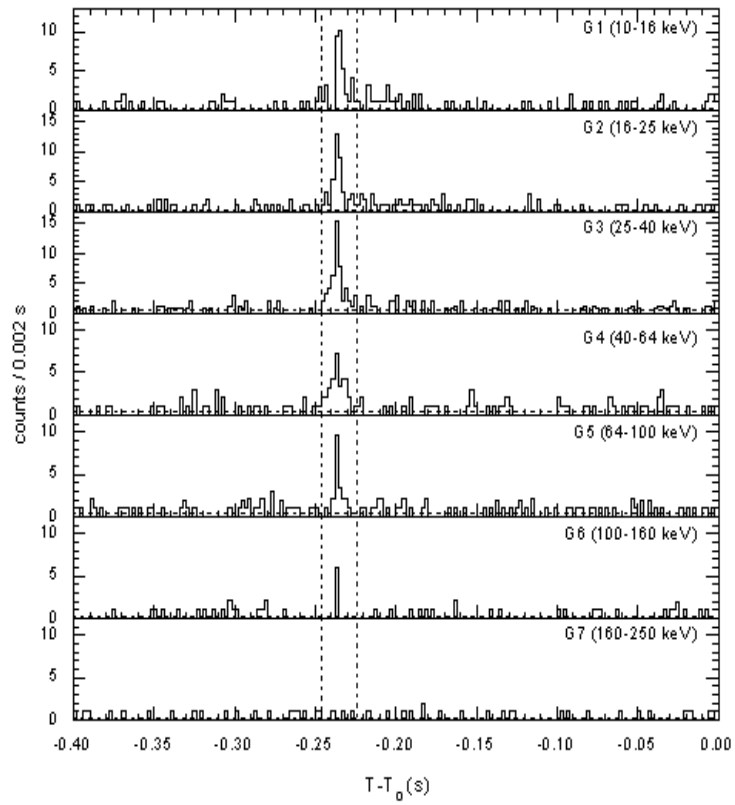


Рис.9. Открытие нового гамма-репитера SGR0418+5729 в синхронных наблюдениях эксперимента КОНУС-РФ («КОРОНАС-ФОТОН») и обсерваторий Ферми (GBM) и СВИФТ (BAT).

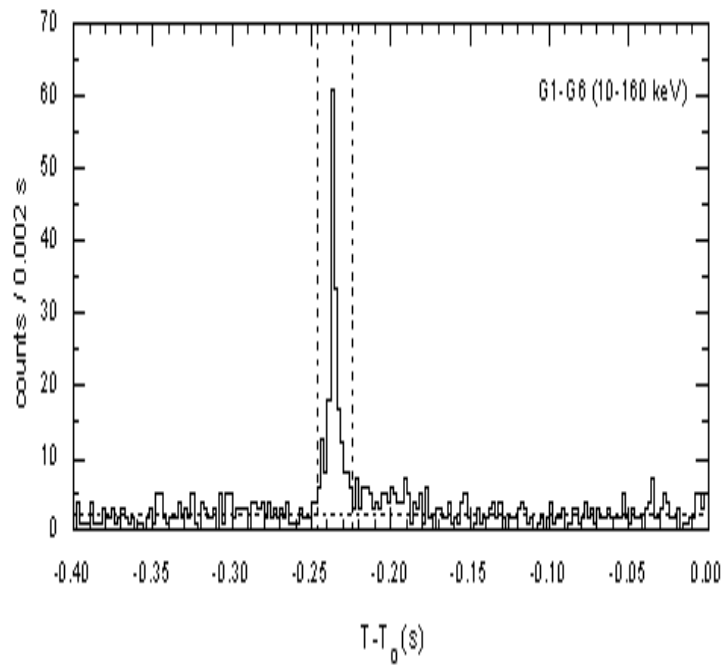


Рис. 10. Детальный временной профиль всплеска нового гамма-репитера SGR0418+5729 по данным эксперимента КОНУС-РФ («КОРОНАС-ФОТОН»).

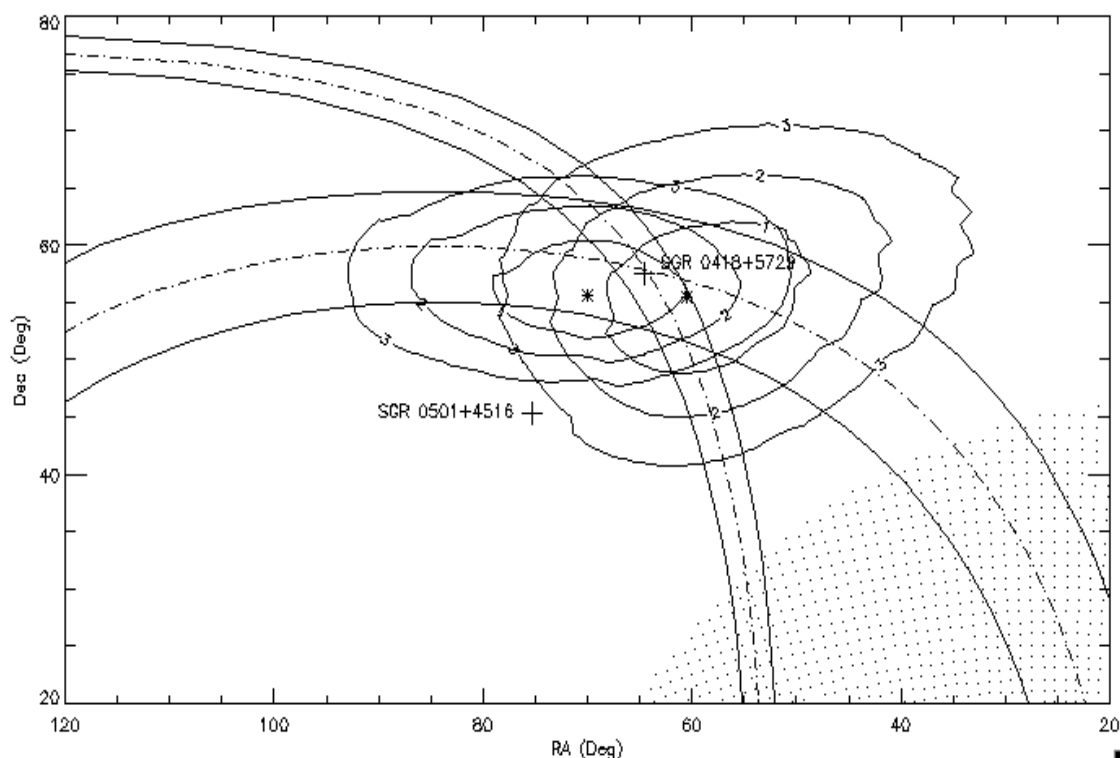


Рис. 11. IPN локализация нового гамма-репитера SGR0418+5729

2.2.6. Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН

2.2.6.1. Эксперименты на Российском сегменте Международной космической станции (РС МКС)

В рамках Долгосрочной программы научно-прикладных исследований и экспериментов на Российском сегменте Международной космической станции (РС МКС) продолжается реализация космического эксперимента «Ураган» («Экспериментальная отработка наземно-космической системы мониторинга и прогноза развития природных и техногенных катастроф»). В кооперации с Институтом географии РАН и Институтом прикладных физических проблем Белгосуниверситет разработана новая фотоспектральная система (рис.1) для замены действующей, которая будет во 2-м квартале 2010 г. установлена на иллюминатор Служебном модуле РС МКС для измерений спектров отраженного излучения подстилающих поверхностей в диапазоне длин волн от 350 до 1050 нм и фотоизображений в видимом диапазоне длин волн.



Рис1. Моноблок фотоспектральной системы для эксперимента «Ураган».

Продолжались работы по подготовке четырех космических экспериментов на РС МКС. По космическому эксперименту «Молния-гамма» («Исследование атмосферных вспышек гамма и оптического излучения в условиях грозовой активности») в кооперации с Физическим институтом РАН и Институтом прикладных физических проблем Белгосуниверситета завершалась наземная отработка аппаратуры. Начало летных испытаний на РС МКС планируется в 4-м квартале 2010 г. На рис.2 показан гидромакет моноблока внешних датчиков (3 оптических и 3 гамма датчика) для тренировок экипажа в гидробассейне.



Рис.2. Гидромакет моноблока внешних датчиков (3 оптических и 3 гамма датчика) для тренировок экипажа в гидробассейне.

По космическому эксперименту «Сейсмопрогноз» («Экспериментальная отработка методов мониторинга электромагнитных и плазменных предвестников землетрясений, чрезвычайных ситуаций и техногенных катастроф») продолжается наземная отработка аппаратуры. Начало летных испытаний на РС МКС планируется в 2011 г.

По космическому эксперименту «Гидроксил» («Оптические наблюдения состояния верхней атмосферы для прогнозирования геофизических катастроф») в кооперации с Институтом прикладных физических проблем Белгосуниверситета продолжается наземная отработка спектрофотометрического комплекса аппаратуры. Эксперимент включен в стартовый состав многоцелевого лабораторного модуля Российского сегмента МКС (ориентировочно на 2012 г.).

Комплексные эксперименты «Сура» - РС МКС по нагреву ионосферы

Находящийся на борту РС МКС оптический комплекс «Фиалка» был использован для изучения эффектов нагрева ионосферы в комплексных экспериментах с нагревным стендом «Сура», расположенным на средних широтах. Была проведена серия экспериментов 2 октября 2007 г., 16 марта 2009 г., 20 апреля 2009 г., 9-10 ноября 2009 г.

Особенностью среднеширотного нагревного стенда «Сура» является возможность проводить ионосферные плазменные исследования вне высокоактивной и динамичной авроральной области. Во всех экспериментах была использована рабочая частота 4.3 МГц с поляризацией обыкновенной волны, которая всегда превышала критическую частоту ионосферного слоя F2. В этом случае мощным радиоизлучением стенда засвечивался весь объем по высоте ионосферы в пределах диаграммы направленности антенны, которая имеет ножевую форму с углом раскрытия 36° в плоскости меридиана. Такие условия нагревного эксперимента предполагают, что в результате взаимодействия радиоизлучения

с ионосферной плазмой должны появиться энергичные электроны в гораздо большем поперечном сечении объема магнитной силовой трубки, опирающейся на район нагрева, чем при классическом нагреве, где этот размер ограничен первой зоной Френеля (узкий слой по высоте) в области отражения волны нагрева.

В эксперименте 2 октября 2007 г. стенд работал в режиме периодического нагрева. Частота модуляции была близка к частотам собственных альфвеновских колебаний плазмы магнитной силовой трубки, опирающейся на пятно нагрева в ионосфере. С борта МКС было получено более 1000 изображений яркого локального свечения, появившегося в поле зрения камеры при пролете в окрестности стенда «Сура». Область свечения появилась северо-восточнее стенда (150-200 км) и перемещалась на восток со скоростью 4-5 км/сек в плоскости изображения. Яркость свечения достигала десятков килорэлеи. Анализ гелиогеофизической обстановки показал отсутствие значительных аномалий в период проведения эксперимента. По данным сети INTERMAGNET планетарный индекс магнитной активности не превышал 3, наблюдения показывали спокойный авроральный овал, отсутствие вариаций солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (по данным спутников GOES, SOHO и др.). По данным спутника DEMETER, пролетавшего 400 км западнее стенда «Сура», при нагреве зарегистрировано, по крайней мере, два электромагнитных отклика в ОНЧ-диапазоне (электрическая компонента, 0.1-18 кГц) на импульсы нагрева (для второго и пятого). Процессы их генерации разные. Так, для второго импульса диапазон регистрируемых частот был в достаточно широкой полосе (порядка 5 кГц), центрированной на 7 кГц (нижнегибридная частота для ионосферного слоя F2), а для пятого импульса (спутник находился вблизи стенда - между Москвой и «Сурой») это уже частоты около 12.5 кГц и, отдельно, возмущение в нижней части спектра (0-1.5 кГц). Во время 5-го импульса зарегистрировано также яркое свечение на борту МКС и, если электромагнитное излучение на частотах в районе 12.5 кГц может быть результатом раскачки нижнегибридных колебаний в зоне предельных токов альфвеновской волны (высота выше 1000 км над зоной активного нагрева электронной компоненты ионосферной плазмы стендом «Сура»), то низкочастотная часть может быть ответственна за взаимодействие вторгающегося пучка, вызвавшего такое яркое свечение. На основе анализа всего комплекса полученных данных можно предположить, что могло иметь место триггерирование искусственной авроры за счет модулированного нагрева с периодом близким собственным колебаниям альфвеновской моды плазмы магнитной силовой трубки, опирающейся на пятно модифицированной ионосферной плазмы. Однако, такое предположение нельзя считать в достаточной мере достоверным, и необходимы дальнейшие эксперименты для более детального изучения возникающих эффектов.

В эксперименте 16 марта 2009 г. во время проведения импульсных воздействий на слабо-возмущенном фоне зарегистрированы отклики в горизонтальной компоненте магнитного поля на каждый нагревный импульс, но самые значительные для 3, 4, 5-го импульсов. Анализ магнитной обстановки в глобальном масштабе показал, что амплитуда этих всплесков, зарегистрированных в районе проведения эксперимента, в несколько раз превышала амплитуду в других регионах. Так, для станции Баксан (Приэльбрусье) зарегистрировано уменьшение амплитуды соответствующих всплесков более чем в 7-8 раз. Нагрев радиоизлучением происходил в пределах 12° диаграммы направленности антенны стенда при работе трех передатчиков, обеспечивающих до 80 МВт эффективной мощности излучения. Достижение максимальных амплитуд откликов только для 3, 4, 5-го импульсов, по-видимому, связано с эффектом синхронизации периодичности нагрева с собственными колебаниями плазмы соответствующей магнитной силовой трубки. Максимум амплитуды отражает резонансный эффект, то есть совпадение по фазе импульсов нагревного стенда с собственными колебаниями уже возбужденной магнитосферно-ионосферной системы в районе стенда.

В эксперименте 20 апреля 2009 г. проводился анализ эффектов нагрева в магнитно-сопряженной области при пролете МКС в южном полушарии. Регистрация эффектов проводилась оптическими средствами комплекса «Фиалка». В северном полушарии в окрестностях стенда «Сура» проведены комплексные наблюдения состояния ионосферы и магнитного поля средствами ИЗМИРАН. Зарегистрировано слабое свечение, положение которого соответствует расчетной (по модели IGRF 2010) магнитно-сопряженной области для стенда «Сура». Обнаруженное свечение можно трактовать как искусственное полярное сияние, вызванное работой стенда, так как до и после эксперимента оно отсутствовало.

В экспериментах 9 и 10 ноября 2009 г. наблюдалось совершенно спокойное состояние магнитосферно-ионосферной системы. Зарегистрированы локальные аномалии в вариациях геомагнитного поля (данные пункта ИЗМИРАН в Карпогорах), которые могут быть связаны с нагревом ионосферы стендом «Сура». Они зарегистрированы 9 ноября, по окончанию первого сеанса нагрева (примерно в 16 UT), и 10 ноября, во время последнего сеанса в районе 21 UT. В том и другом случае, сразу после выключения стенда наблюдались возмущения в магнитном поле, которые, судя по амплитуде (в сравнении с данными сети «Интермагнет»), были локализованы в этом регионе. Событие 10 ноября по всем признакам можно классифицировать как микросуббурю длительностью 1-1.5 часа (аналогичное явление наблюдалось в первом эксперименте 2 октября 2007 г.).

Таким образом, полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что мощное излучение среднеширотного стенда, даже при минимальной эффективной мощности 10 МВт и при использовании широкой диаграммы направленности, способно эффективно воздействовать на природные процессы в ионосфере и магнитосфере. Опыт проведенных экспериментов будет использован при планировании будущих исследований в этой области.