

2.3. Информация о проектах Федеральной космической программы России, находящихся в стадии разработки

2.3.1. Институт космических исследований РАН

ПРОЕКТ ЭКСПЕДИЦИИ К ФОБОСУ

НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТА ФОБОС-ГРУНТ

Основной целью проекта Фобос-Грунт является доставка на Землю образцов вещества с Фобоса для их последующих все сторонних исследований в земных лабораториях.

На посадочном аппарате, помимо предназначенных для забора грунта манипуляторов, установлен комплекс научных приборов, предназначенных для прямых (*in situ*) измерений физико-химических свойств поверхности в месте посадки аппарата. Наряду с этим, предполагаются исследования системы Марса, включающей саму планету, его спутники и околомарсианское пространство, путем дистанционных измерений.

Таким образом, основные научные задачи проекта нацелены на решение широкого спектра проблем, связанных, в первую очередь, с генезисом Солнечной системы. Решение этой главной задачи должно быть обеспечено путем исследования физико-химических свойств реликтового вещества с Фобоса. Другие научные задачи включают в себя:

- исследования физико-химических характеристик Фобоса как небесного тела, что позволит приблизиться к пониманию происхождения марсианских спутников и, возможно, происхождения спутниковых систем у других планет;
- определение детальных параметров орбитального и собственного вращения Фобоса, что важно для изучения внутреннего строения этого малого тела и эволюции его орбиты;
- исследования физических условий среды вблизи Марса – электрических и магнитных полей, характеристик взаимодействия солнечного ветра с плазменным окружением Марса, в том числе регистрация “убегающих” из атмосферы Марса ионов кислорода, что позволит расширить представления об истории воды на Марсе;
- исследования вариаций характеристик атмосферы Марса.

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ФОБОС-ГРУНТ

Космический аппарат для экспедиции разработан в Научно-производственном объединении им. С.А. Лавочкина, головной организации отечественной космической промышленности, специализирующейся на создании автоматических космических аппаратов, создавшей все советские лунные и межпланетные аппараты. Создание КА осуществляется под руководством Генерального конструктора и Генерального директора этой организации Г.М. Полищука. Космический аппарат Фобос-Грунт состоит из перелетно-орбитального модуля, маршевой двигательной установки, тормозной двигательной установки и возвращаемого аппарата, несущего спускаемый (на Землю) аппарат.

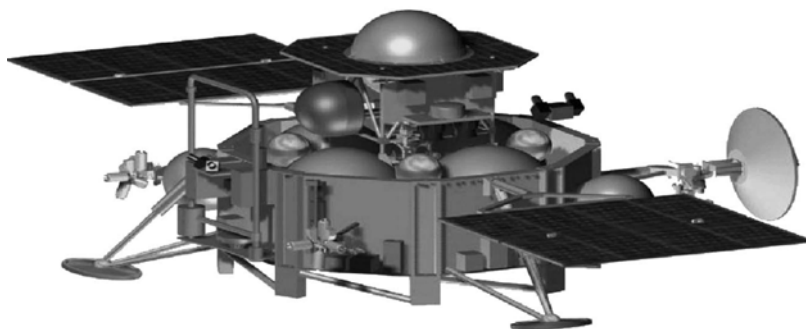


Рис. Общий вид космического аппарата (разработка НПО им. С.А. Лавочкина).

В состав космического комплекса включен также китайский малый спутник Марса УН-1. Этот аппарат будет запущен совместно с КА Фобос-Грунт и доставлен на эллиптическую орбиту Марса, после чего будет отделен от основного аппарата и начнет выполнять программу научных исследований Марса и около-марсианского пространства, разработанную китайскими учеными.

Важное значение при создании межпланетных космических аппаратов имеет обеспечение требований COSPAR по планетной защите и др., 2002). При создании КА Фобос-Грунт этому вопросу было уделено особое внимание, так как этот проект, в соответствии с требованиями COSPAR, относится одновременно к двум категориям межпланетных экспедиций: космический аппарат на орбите Марса и миссия с доставкой на Землю образцов внеземного вещества.

СЦЕНАРИЙ ЭКСПЕДИЦИИ

Баллистико-навигационное обеспечение проекта Фобос-Грунт было разработано в НПО им. С.А. Лавочкина и Институте прикладной математики Российской академии наук под руководством чл.-корр. РАН Э.Л. Акима 2002). Сценарий экспедиции можно разбить на несколько этапов. Первый этап – запуск КА, вывод его на околоземную орбиту и модификация этой орбиты для оптимизации работы бортовых систем и условий выведения КА на отлетную траекторию к Марсу. Планируется, что запуск производится с космодрома Байконур ракетой-носителем Зенит в конце 2011 г. Перелет Земля–Марс начинается после вывода КА на отлетную траекторию и завершается подлетом к Марсу на минимальное расстояние.

Длительность этого этапа 10.0–11.5 месяцев. Подлет к Марсу происходит по пролетной параболической траектории с высотой перицентра около 700 км. Тормозной импульс при подлете КА по пролетной параболической траектории к Марсу выводит КА на первую эллиптическую орбиту вокруг Марса. Параметры этой орбиты: высота перицентра ~700 км, апоцентра около 77000 км, период обращения – 3 сут.

Следующий этап экспедиции – формирование орбиты КА для сближения с Фобосом. Этот этап с помощью трехимпульсной схемы был уже отработан в предыдущей экспедиции к Фобосу. В соответствии с этой схемой второй импульс, который выполняется в апоцентре, увеличивает перицентр КА до высоты, несколько превышающую высоту орбиты Фобоса. Третий импульс в перицентре формирует круговую орбиту с радиусом приблизительно 9900 км (на ~500 км выше орбиты Фобоса) в плоскости орбиты Фобоса.

Период обращения КА на этой круговой орбите 8.3 ч. Находясь на этой орбите, КА раз в 4 сут будет сближаться с Фобосом на расстояния в несколько сот километров. Работа на этой так называемой орбите наблюдения необходима для проведения точных навигационных измерений взаимного движения КА и Фобоса, что требуется для перехода на еще более близкую к Фобосу “квазисинхронную” орбиту. Эта орбита КА имеет равный с орбитой Фобоса период обращения, но отличается от нее по высоте на несколько десятков километров в меньшую и в большую стороны в разных частях орбиты. Двигаясь по такой орбите, КА будет постоянно находиться вблизи Фобоса на расстоянии 50–130 км. Более того, особенность “квазисинхронной” орбиты состоит в том, что в системе координат Фобоса космический аппарат совершает оборот вокруг этого спутника Марса за 7.36 ч (орбитальный период). Работа на этой орбите необходима для уточнения взаимного положения двух тел и изучения места посадки на поверхности Фобоса.

Посадка планируется в экваториальной области Фобоса, с которой невозможно наблюдать за Марсом. Такое решение принято по соображениям требуемой энергетики для работы КА на поверхности Фобоса – посадка на сторону Фобоса, постоянно обращенную к Марсу, как это планировалось ранее, приводит к ограничению энергетики космического аппарата из-за создания теней от Марса. Место посадки выбирается с учетом

данных съемок поверхности Фобоса с высоким пространственным разрешением, выполненных КА Mars Express.

Предварительно место посадки КА выбрано в районе экватора между 214°W и 233°W. Новые более детальные изображения поверхности Фобоса позволят уточнить предполагаемое место посадки.

После посадки КА и предварительных исследований грунта Фобоса научной аппаратурой, находящейся на борту КА, будет произведен забор образцов грунта. С этой целью на борту будет находиться грунтозаборное устройство, которое позволит взять образцы реголита и консолидированные образцы (камешки ~1 см) общим объемом ~100 см³. Образцы грунта укладываются в контейнер спускаемого аппарата, который герметически закрывается. После этого возвращаемый аппарат готов к старту с Фобоса.

Время посадки КА на поверхность Фобоса и время старта возвращаемого аппарата с Фобоса определяется множеством факторов, включая условия освещенности КА, радиосвязи с наземных пунктов управления и получения телеметрической информации.

После принятия решения о старте возвращаемого аппарата срабатывают механические толкатели, обеспечивающие отделение возвращаемого аппарата от перелетно-орбитального модуля (остающегося на поверхности Фобоса) и сообщаемые возвращаемому аппарату относительную скорость порядка 1 м/с. После ухода возвращаемого аппарата на безопасное расстояние включается его двигательная установка и возвращаемый аппарат выходит на орбиту вокруг Марса с высотой, несколько меньшей высоты орбиты Фобоса. Далее, после корректировки орбиты, удобной для старта к Земле, выполняются операции по переводу возвращаемого аппарата на межпланетную траекторию Марс–Земля. Этот перевод проводится по трехимпульсной схеме, подобной той, которая использовалась для перевода КА с межпланетной траектории на круговую орбиту вокруг Марса, но в обратной последовательности. Время перелета Марс–Земля составляет 10.5–11.5 месяцев.

Доставкой образцов грунта с Фобоса на Землю экспедиция не заканчивается. Перелетно-орбитальный модуль, с которого стартовал возвращаемый аппарат, остается на поверхности Фобоса для продолжения выполнения научной программы экспедиции. Планируется, что исследования на поверхности Фобоса с помощью комплекса научной аппаратуры будут проводиться в течение года.

ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ ЛУНЫ 2010-2020



Программа исследования Луны на 2010-2020 гг. включает:	
Проект Луна – Глоб	2013
- Орбитальный аппарат	
- Посадочный аппарат	
Проект Луна – Ресурс (совместно с ISRO)	2013
- Посадочный аппарат	
Проект Луна – Ресурс	~ 2018
- Луноход и доставка образцов реголита на Землю	

Научные задачи проекта «Луна-Глоб»

Исследования вещества поверхности Луны, процессов на поверхности, строения приповерхностных слоев

- Перенос и накопление летучих элементов и соединений в приполярных областях
- Поиск водородосодержащих пород (водяного льда) на поверхности, природа предполагаемых их отложений, затененные области («холодные ловушки»).
- Химические свойства и минералогический состав поверхностного слоя реголита.
- Структура подповерхностных пород.
- Природа и происхождение магнитных аномалий.
- Природа и происхождение тепловых аномалий.

Исследование внутреннего строения Луны

- Параметры лунного ядра.

Исследования окололунного пространства

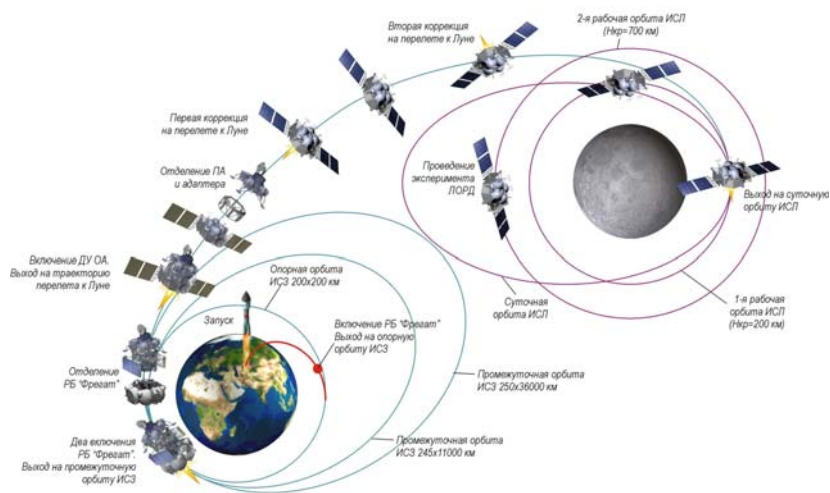
- Природа экзосферы Луны
- Взаимодействие факторов межпланетной среды с Луной как безатмосферным небесным телом и магнитными аномалиями на ее поверхности
- Мониторинг электромагнитных излучений.
- Мониторинг ионизирующих излучений вблизи Луны.

Исследования в интересах фундаментальной физики.

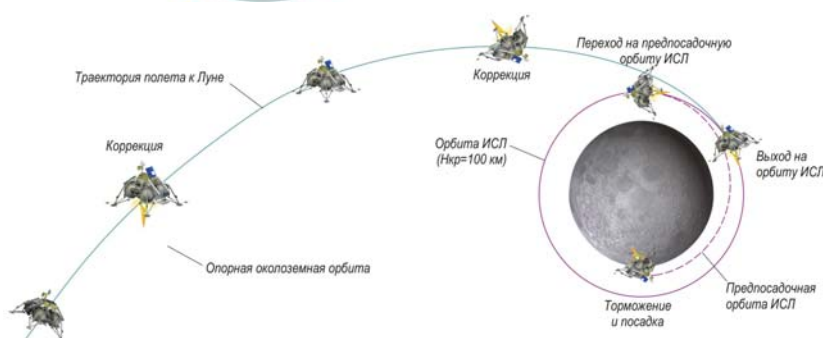
- Исследование космических лучей сверхвысоких энергий (Луна используется как мишень для регистрации частиц).
- Исследование межзвездного газа и гелиосферного интерфейса.



Космический аппарат в транспортной конфигурации



**СХЕМА ПЕРЕЛЕТА
Орбитального аппарата**



**СХЕМА ПЕРЕЛЕТА
Посадочного аппарата**



**Унифицированный посадочный аппарат
для проектов Луна-Глоб и Луна-Ресурс**

Федеральная космическая программа на 2010-2020 годы включает также перспективные проекты по исследованию Марса, Венеры, спутника Юпитера – Европы

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

2.3.2.1. Проект Интергелиозонд

В 2008-2009 гг. продолжалась разработка проекта «Интергелиозонд», в рамках которого для исследований внутренней гелиосферы и Солнца с близких расстояний предлагается использовать космический аппарат (КА) на гелиоцентрической орбите, формируемой за счет многократных гравитационных маневров у Венеры. Такая баллистическая схема позволит при экономии ракетного топлива и времени перелета вывести КА на близкие к Солнцу рабочие орбиты и впервые выполнить серию уникальных наблюдений Солнца с близких расстояний и провести локальные измерения в ближайших окрестностях Солнца. Наблюдения солнечной атмосферы с высоким пространственным разрешением в сочетании с локальными плазменными измерениями вблизи Солнца позволят существенно продвинуться в решении проблем нагрева солнечной короны, ускорения солнечного ветра, происхождения наиболее мощных проявлений солнечной активности - солнечных вспышек и выбросов коронального вещества. На заключительной стадии миссии гравитационные маневры у Венеры могут быть использованы для наклона плоскости орбиты КА к плоскости эклиптики и проведения первых внеэклиптических наблюдений Солнца – его полярных областей и эклиптической короны.

Постепенно приближаясь к Солнцу по скручивающейся гелиоцентрической спирали (рис.1) КА «Интергелиозонд» будет занимать разные положения по отношению к линии «Солнце-Земля» выполняя многопозиционные локальные измерения в околосолнечном пространстве и наблюдая Солнце с разных, в том числе невидимых с Земли, сторон. В области гелиоцентрических расстояний КА будет иметь периоды коротации с вращением Солнца, что позволит выполнить высокоточные наблюдения его поверхности и установить корреляции между явлениями на поверхности в гелиосфере.

Орбита КА «Интергелиозонд» позволит выполнить целую серию оригинальных наблюдений и измерений:

Наблюдения солнечной атмосферы с высоким разрешением с близких расстояний.

Коротационные наблюдения и измерения.

Локальные измерения вблизи Солнца.

Внеэклиптические наблюдения и измерения.

Стереонаблюдения Солнца (совместно с околосолнечными КА).

Наблюдения невидимой с Земли стороны Солнца.

Внеэклиптические участки орбит КА позволят впервые наблюдать полярные зоны Солнца и пояс стримеров в плоскости экватора, определить долготную протяженность выбросов «корональной» массы и контролировать их распространение во внутренней гелиосфере.

Многопозиционные положения КА «Интергелиозонд» по отношению к плоскости эклиптики позволят детально исследовать протяженные «корональные» стримеры, а также связанное с поясом стримеров ускорение медленного солнечного ветра. Будут также осуществляться регулярные наблюдения быстрого солнечного ветра при пролете КА над приполярными областями на стадии наклонения орбиты к плоскости эклиптики.

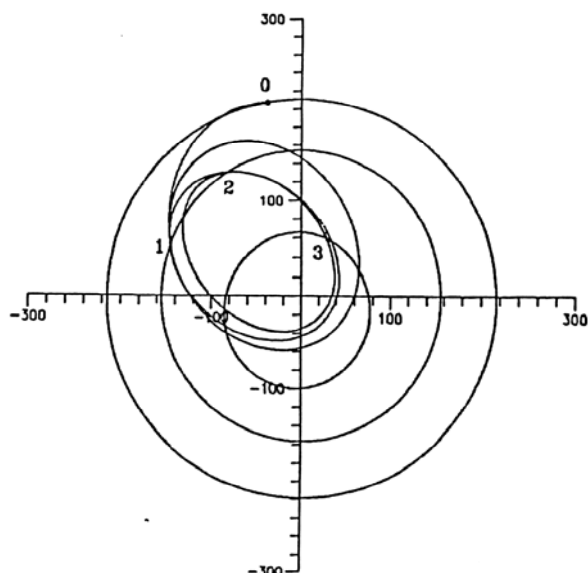


Рис.1.Баллистическая схема «Интергелиозонда».

В 2008 г. завершена стадия А проекта, в рамках которой разработана баллистическая схема миссии, научная программа и состав научных приборов, включающий приборы дистанционных наблюдений Солнца (рентгеновский телескоп-спектрограф, коронограф, магнитограф, фотометр) и приборы локальных гелиосферных измерений (магнитометр, анализатор электронов солнечного ветра, анализатор плазмы, анализатор солнечных нейтронов, детектор заряженных частиц, гамма-спектрометр, радиоспектрометр и волновой комплекс). На начавшейся в 2009 г. стадии В проекта ведется разработка технических предложения и подготовка материалов в эскизный проект миссии.

2.3.2.2. Проект «Полярно-эклиптический патруль» (ПЭП)

В 2009 г. начата стадия А проекта «Полярно-Эклиптический Патруль» (ПЭП) (“Polar Ecliptic Patrol - PEP”) для изучения глобальной картины солнечной активности и ее проявлений в гелиосфере и околоземном космическом пространстве. В рамках этого проекта два малых космических аппарата помещаются на наклоненные к плоскости эклиптики гелиоцентрические орбиты на расстоянии примерно 0.5 а.е., так что их плоскости орбит располагаются под углом друг к другу (см. рис.2), а на орбитах аппараты разнесены на четверть периода (период около 130 дней).

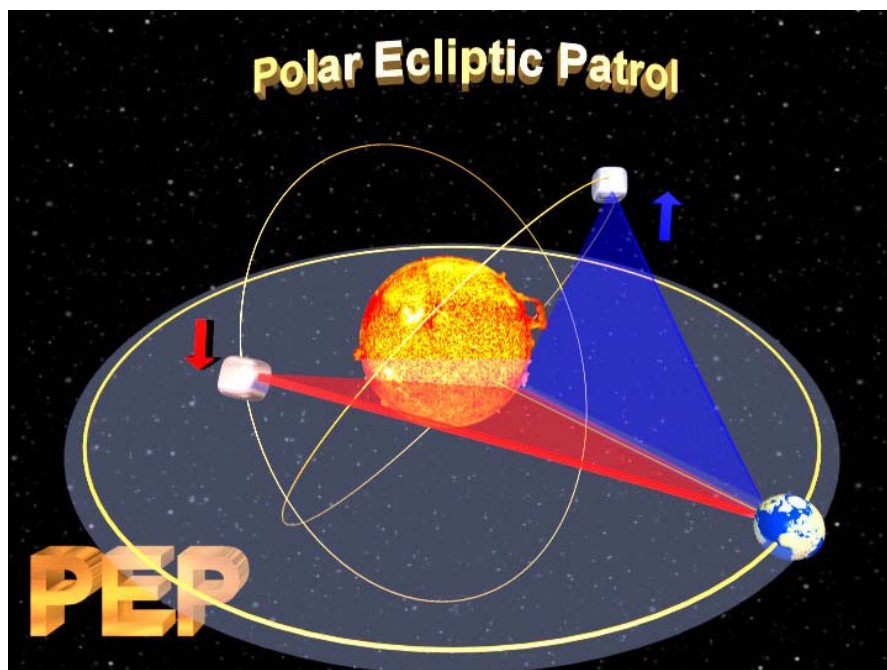


Рис.2.Баллистическая схема «Полярно-эклиптического патруля».

При такой орбитальной схеме с одного из внеэклиптических космических аппаратов *непрерывно* обеспечивается контроль линии «Солнца-Земля», а в течение длительного времени с обоих космических аппаратов. Когда один космический аппарат находится в плоскости эклиптики, другой располагается над одним из полюсов Солнца, а когда один из КА удаляется от плоскости эклиптики, другой приближается к ней. Таким образом, *одновременный мониторинг* осуществляется как в *приэклиптических*, так и в *приполярных* областях. Это дает возможность непрерывного изучения как низко- так и высокоскоростного солнечного ветра, объемной картины солнечной короны и солнечных выбросов. Наблюдения солнечных выбросов с двух пространственно разнесенных КА и из внеэклиптического положения позволит наиболее точно определять направление их распространения по отношению к линии «Солнце-Земля», и их гелиоширотную и гелиодолготную протяженность, что необходимо для более точного предсказания начала взаимодействия выбросов с магнитосферой Земли. В отдельные периоды один из КА будет располагаться по отношению к линии «Солнце-Земля» в другой, чем Земля полусфере, и, таким образом, этот КА будет наблюдать *обратную* невидимую с Земли сторону Солнца. Таким образом, в рамках проекта ПЭП обеспечивается *непрерывный* мониторинг солнечной активности и солнечного ветра, идущих в направлении Земли солнечных выбросов и гелиосферных возмущений, а также наблюдения за *полярными* областями и *обратной* стороной Солнца.

Наблюдения Солнца и окосолнечного пространства с двух пространственно разнесенных аппаратов позволит выполнить стереонаблюдения, получить трехмерные изображения плазменных образований в солнечной атмосфере и трехмерную картину солнечной короны и выбросов массы.

Возможность наблюдения Солнца из внеэклиптических положений и особенно его полярных зон и активных явлений, концентрирующихся преимущественно к плоскости эклиптики, позволит существенно продвинуться в понимании природы солнечной активности и в решении задач непрерывного контроля и прогноза космической погоды.

Основные научные цели проекта направлены на

- Получение глобальной структуры и эволюции короны и солнечного ветра, трехмерной пространственно-временной картины возникновения и распространения выбросов коронального вещества.

- Установление структуры магнитного поля и конвекции в полярных областях Солнца. Изучение взаимодействия вращения, магнитного поля и конвекции внутри Солнца. Определение скорости потери углового момента Солнца.
- Установление пространственно-временной картины распространения энергичных частиц, ускоряемых активными явлениями на Солнце.
- Предсказание и регистрация попадания на Землю выбросов коронального вещества, ударных волн и других гелиосферных возмущений. Предсказание и контроль гелиосферной (космической) погоды на орбите Земли.
- Исследование истинной переменности в светимости Солнца на основе измерений потоков излучения в разных направлениях от Солнца.

На последующих этапах стадии А будут более детально прорабатываться баллистические характеристики миссии, научные задачи и состав приборов, предварительный облик космического аппарата.

2.3.2.3. Проект Резонанс

В магнитосферном проекте “Резонанс” (головная организация ИКИ РАН) ИЗМИРАН в кооперации с Центром физического приборостроения Института общей физики им. А.М.Прохорова РАН ведет подготовку магнитного эксперимента (магнитометр ФМ-7Р) и в кооперации с ИКИ БАН электрического эксперимента (прибор ИЭСП-3Р). По этим приборам разработаны и изготовлены лабораторно-отрабочные макеты, рабочая конструкторская документация, включающая программы наземной экспериментальной отработки приборов и проекты Технических условий.

2.3.2.4. Проект «ИОНОСАТ»

Для исследования ионосферы как индикатора солнечно-земных и литосферно-атмосферных взаимодействий предполагается использовать спутниковые измерения на высотах 400-500 км, которые являются эффективным методом изучения этих процессов и их взаимосвязи. Стадия А проекта «Ионосат» начата в 2009 г. Регулярные ионосферные измерения на спутнике «Ионосат» предполагается выполнять в составе кластера из трех малых космических аппаратов в кооперации с Украиной и другими участниками проекта. Планируемые спутниковые измерения позволят изучить ионосферные эффекты солнечной активности – вспышек и всплесков излучения; эффекты магнитосферно-ионосферных явлений - токовых систем, магнитных бурь и суббурь, высыпания частиц; эффекты атмосферных явлений - гроз, тайфунов, спрайтов, акустико-гравитационных волн; эффекты литосферных процессов - землетрясения, извержения вулканов; эффекты антропогенной деятельности - запуски ракет, взрывы, промышленная деятельность, вещательные станции, нагревные стенды.

Сильная изменчивость околоземного космического пространства является одним из фундаментальных его свойств. Ионосфера находится под активным воздействием солнечной активности и идущих снизу возмущений природного и техногенного характера (грозовая активность, спрайты, вулканическая и сейсмическая активность, электромагнитное воздействие от нагревных стендов и т.д.). Обнаруженные по спутниковым измерениям ионосферные эффекты процессов подготовки сильных землетрясений вызывают повышенный интерес в связи с поиском возможных предвестников землетрясений и эффективных методов предупреждения о готовящемся землетрясении. Все это ставит принципиальный вопрос о возможности разделения ионосферных эффектов от различных источников, их отождествлении с целью использования в научной и практической деятельности. Решение такого рода задач возможно только на основе регулярных ионосферных

измерений, которые могут быть выполнены кластером малых космических аппаратов.

Предполагаемая баллистическая схема кластера малых спутников «ИОНОСАТ» изображена на рис.3.

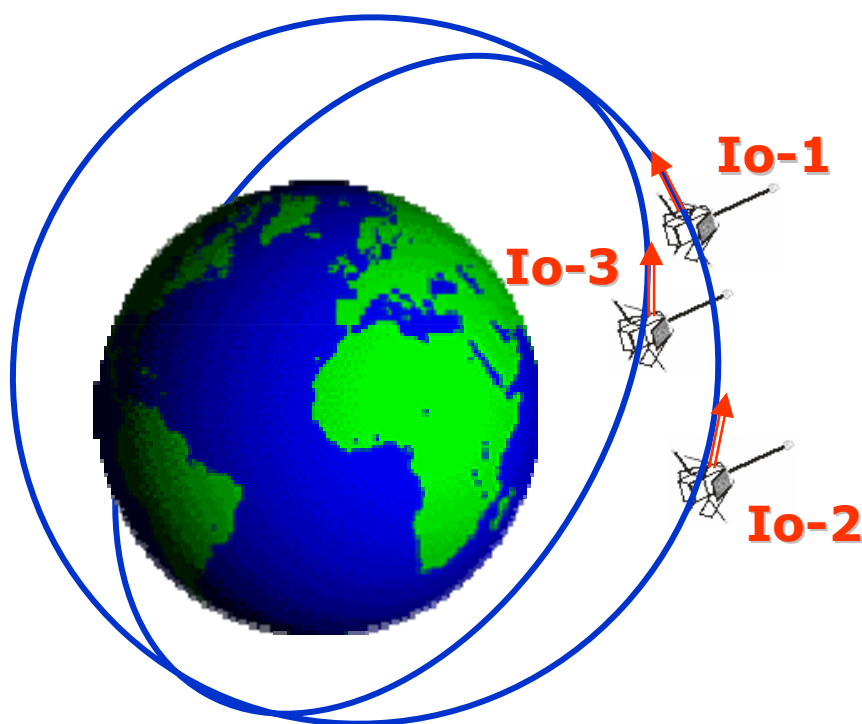


Рис.3.Баллистическая схема «ИОНОСАТ».

На стадии А проекта предполагается разработать методологию непрерывных и синхронных измерений кластером спутников физических характеристик ионосферы - параметров нейтральной компоненты, магнитных, электрических и волновых процессов, потоков заряженных и нейтральных частиц, озона и малых газовых составляющих. Будут также проработаны приборный состав спутников, и оптимальные варианты баллистических схем кластерной системы.

2.3.2.5. Проекты «Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс»

В рамках программы исследований Луны ИЗМИРАН принимает участие в подготовке проекта «Луна-Глоб» (Орбитальный аппарат) и «Луна Ресурс» (Луноход) и в кооперации с Центром физического приборостроения Института общей физики им. А.М.Прохорова РАН разрабатывает магнитометр ФМ-ЛГ на лунные пенетраторы и магнитометр ФМ-ЛР на луноход. Работа началась в 2009 году. Разработана конструкторская документация, включающая Техническое задание на магнитометры и контрольно-испытательную аппаратуру, комплект конструкторской и технической документации для изготовления и испытаний магнитометров и их макетов.

2.3.3. Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН

2.3.3.1. Проект «Фобос-Грунт»

Основной целью проекта «Фобос-Грунт» является забор и доставка на Землю образцов грунта Фобоса. Для аттестации места посадки КА «Фобос-Грунт» на поверхности Фобоса в ГЕОХИ РАН совместно с организациями-соисполнителями (ИПМ РАН, ИФЗ РАН) был разработан и изготовлен комплекс научной аппаратуры:

- гамма-спектрометр ФОГС
- масс-спектрометр МАЛ-1Ф
- термодетектор ТЕРМОФОВ
- сейсмометр СЕЙСМО-1

Кроме того, был изготовлен детектор космической пыли МЕТЕОР-Ф для изучения метеорных частиц на трассе полета и в окрестностях Марса и Фобоса.

С помощью указанных выше приборов будут решены следующие научные задачи:

- Изучение содержания основных породообразующих элементов от водорода до железа и естественных радиоактивных элементов калия, тория, урана.
- Исследование состава газообразной компоненты породы Фобоса.
- Определение теплофизических свойств грунта.
- Изучение внутреннего строения Фобоса.

Гамма-спектрометр ФОГС предназначен для определения концентрации естественных радиоактивных и основных породообразующих элементов: водорода, углерода, кислорода, магния, алюминия, кремния, калия, кальция, титана, марганца, железа, тория и урана в слое породы толщиной до 2м. Прибор состоит из двух блоков: блока детектирования, в состав которого входит сцинтилляционный детектор на основе кристалла CsI и полупроводниковый детектор для изучения потока тепловых нейтронов и многоканальный амплитудный анализатор импульсов (рис.1).



Рис.1 Гамма-спектрометр ФОГС

Методика эксперимента основана на регистрации гамма-излучения естественных радионуклидов калия, тория, урана и гамма-излучения, обусловленного ядерными взаимодействиями космических лучей с элементами, входящими в состав пород Фобоса.

Технические характеристики приведены в Табл.1

Таблица 1

Гамма-спектрометр ФОГС	Измеряемый параметр	Энергия гамма-квантов, поток тепловых нейтронов
	Диапазон измерений	Гамма-кванты: от 0,3 МэВ до 9,0 МэВ, Нейтроны до 0,4 эВ
	Точность измерений	1-2 вес.% для основных породообразующих элементов
	Масса прибора	4,5 кг
	Энергопотребление	8 Вт
	Информативность	2052,5 байта/30 мин.

В соответствии с циклограммой работы научной аппаратуры прибор будет работать на трассе полета по часу в месяц для измерения фона, обусловленного ядерными взаимодействиями космических лучей с конструктивными элементами прибора и КА.

Масс-спектрометр МАЛ-1 предназначен для исследования состава газообразной компоненты породы. Прибор МАЛ-1Ф входит в состав хромато-масс-спектрометрического комплекса ХМС (ИКИ РАН и ГЕОХИ РАН).

Прибор представляет собой монопольный масс-спектрометр пролетного типа, состоящий из ионного источника, электродной системы анализатора и блока электроники (рис.2).



Рис.2

Методика работы прибора МАЛ-1Ф основана на регистрации спектра масс летучих компонент породы, поступающих из хроматографа ИКИ РАН.

Технические характеристики приведены в Табл.2.

Таблица 2

Масс-спектрометр МАЛ-1	Измеряемый параметр	Масса ионов газовой компоненты, выделенной из грунта Фобоса.
	Диапазон измерений	От 1 до 200 а.е.м.
	Точность измерений	Лучше 1 а.е.м.
	Масса прибора	4,5 кг
	Энергопотребление	40 Вт
	Информативность	< 300 кбайт

В соответствии с циклограммой прибор включается однократно на 40 мин после поступления пробы грунта в хроматограф.

Термодетектор ТЕРМОФОБ предназначен для теплофизических измерений в приповерхностном слое грунта Фобоса.

Конструктивно прибор состоит из трех термодатчиков, расположенных на разных опорах посадочного устройства аппарата и блока электроники (рис.3).



Рис. 3

Метод основан на активной термометрии с применением контактного нагрева грунта и регистрации обратных тепловых потоков.

Технические характеристики прибора приведены в Табл.3.

Таблица 3

Термодетектор ТЕРМОФОБ	Измеряемый параметр	Температура грунта
	Диапазон измерений	100 - 380 К
	Точность измерений	0,25 К
	Масса прибора	0,955 кг
	Энергопотребление	2,5 Вт
	Информативность	367 кбайт

В соответствии с циклограммой проводится 10 сеансов измерений по 50 мин.

Сейсмометр СЕЙСМО-1 предназначен для изучения внутренней структуры Фобоса. Конструктивно прибор состоит из трех блоков: узкополосного сейсмометра, широкополосного сейсмометра и блока электроники (рис.4).



Рис.4

Метод основан на регистрации сейсмоколебаний, возникающих под действием ударов метеоритов о поверхность Фобоса..

Технические характеристики прибора приведены в Табл.4.

Таблица 4

Сейсмометр СЕЙСМО-1	Измеряемый параметр	Величина смещения грунта
	Диапазон измерений	$10^{-7} \div 10^{-12}$ м
	Точность измерений	10%
	Масса прибора	0,955 кг
	Энергопотребление	0,5 Вт
	Информативность	~ 200 кбайт/час

Прибор включается на поверхности Фобоса и работает непрерывно в течение всей миссии.

Детектор космической пыли МЕТЕОР-Ф предназначен для определения плотности потока метеорных частиц вблизи Марса, получения данных о физико-динамических параметрах метеорных частиц, принадлежащих пылевой оболочке Марса, а также для оценки метеорной опасности полетов космических аппаратов. Конструктивно прибор выполнен в виде моноблока, включающего в себя полусферическую мишень, открытую в космическое пространство, коллектор ионов и узел электроники (рис.5)



Рис.5

Принцип метода основан на явлении испарения и ионизации метеорных частиц при высокоскоростном ударе частиц о мишень.

Технические характеристики прибора приведены в Табл.5

Таблица 5

Детектор космической пыли МЕТЕОР-Ф	Измеряемый параметр	Масса, скорость метеорных частиц
	Диапазон измерений	Скорость от 3 до 35 км/с Масса - от 10^{-14} до 10^{-5} г
	Точность измерений	Масса – 30% Скорость: 10% - в диапазоне 3-10 км/с 30% - в диапазоне 11-35 км/с
	Масса прибора	3,5 кг
	Энергопотребление	4,5 Вт
	Информативность	4 кбайта/сброс

Прибор работает непрерывно до момента посадки КА на поверхность Фобоса.

Реализация указанных выше экспериментов позволит впервые определить элементный состав пород Фобоса, наличие и состав летучих, получить данные о теплопроводности породы, о внутреннем строении Фобоса, прояснить вопрос о существовании пылевых колец в окрестностях Марса.

Разработанная малогабаритная, портативная научная аппаратура может найти применение в областях народного хозяйства, не связанных с космической деятельностью, в частности: в геологических и геофизических работах, мониторинге природных и техногенных катастроф в труднодоступных районах Земли.

Наиболее важным результатом работ в 2008-2009 г.г. по проекту «Фобос-Грунт» является следующее:

- 1) Проведены комплексные испытания технологических образцов приборов масс-спектрометра МАЛ-1Ф, сейсмометра СЕЙСМО-1, гамма-спектрометра ФОГС, термодетектора ТЕРМОФОВ, детектора космической пыли МЕТЕОР-Ф в составе КНА (комплекса научной аппаратуры) проекта «Фобос-Грунт» в ИКИ РАН;
- 2) Изготовлены конструкторско-доводочные образцы (КДИ) этих приборов
- 3) Создана контрольно-измерительная аппаратура (КИА) для каждого из приборов;
- 4) Проведены в полном объеме с положительным результатом КДИ и ресурсные испытания.
- 5) Изготовлены летные образцы (ЛО) приборов масс-спектрометра МАЛ-1Ф, сейсмометра СЕЙСМО-1, гамма-спектрометра ФОГС, термодетектора ТЕРМОФОВ, детектора космической пыли МЕТЕОР-Ф, осуществлена их поставка в НПО им. С.А.Лавочкина;
- 6) Проведены комплексные испытания летных образцов приборов в составе КНА;
- 7) Созданы программно-аппаратные средства наземного научного комплекса для данных приборов и программно-методическая документация по управлению приборами в полете и на поверхности Фобоса.

2.3.4. Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Астрокосмический центр

2.3.4.1. Международный проект «Радиоастрон»

Международный Проект «РадиоАстрон» – Наземно-Космический Интерферометр с базой до 350 000 км

Проект «РадиоАстрон» разработан в Астрокосмическом Центре Физического института им. П.Н. Лебедева Российской Академии наук и в НПО им. С.А. Лавочкина Роскосмоса, в кооперации с рядом российских и международных организаций.

Предполагаемое время запуска – конец 2010 года.

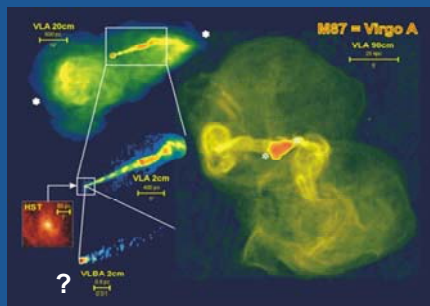
Задачей проекта является проведение исследований различных типов объектов Вселенной с рекордно высоким угловым разрешением в сантиметровом и дециметровых диапазонах длин волн. Такое разрешение достигается с помощью **космического радиотелескопа** диаметром 10 м на борту космического аппарата Спектр-Р, работающего совместно с крупнейшими **наземными радиотелескопами** в режиме интерферометра.



Основные параметры миссии

Диапазоны частот [ГГц]	0,327	1,665	4,83	18 - 25
Ширина полосы, 2 поляризации [МГц]	2 x 4	2 x 32	2 x 32	2 x 32
Ширина лепестка на базе 350.000 км [микросек]	540	106	37	7 - 10
Чувствительность 1-σ [мЯн] (GBT, накопление 300 с)	42	4	4	10

Рекордно высокое угловое разрешение вплоть до 1 мксек дуги



Параметры орбиты

Период (переменный)	7 - 10 дн.
Большая полуось	189 000 км.
Начальное наклонение	51.6°.
Изменение высоты перигея [эволюция орбиты под влиянием притяжения Луны]	10 000 ± 70 000 км.

Исследования с Наземно-Космическим Интерферометром

- Получение изображений различных источников с умеренным и сверхвысоким угловым разрешением во всем диапазоне проекций баз (для непрерывного и линейчатого спектров с измерением поляризации).
- Высокоточное измерение координат источников, их собственных движений и структурных вариаций.
- Высокоточное определение параметров орбиты РадиоАстрона.

Сборка и испытания космического радиотелескопа

Научная программа

Обсерватории «РадиоАстрон»:

- Ядра галактик, сверхмассивные черные дыры, горизонт событий, ускорение частиц, предельные яркостные температуры, Фарадеевское вращение, магнитные поля, космические лучи, сверхсветовое движение.
- Космологические эффекты; зависимость различных физических параметров ядер галактик от красного смещения объектов; эффекты темной материи и темной энергии.
- Области формирования звезд и планетных систем, мазеры и Мегамазеры.
- Черные дыры звездных масс и нейтронные звезды.
- Межзвездная и межпланетная материя.
- Фундаментальная астрометрия и определение параметров высокоточной системы небесных координат.
- Определение параметров высокоточной модели гравитационного поля Земли.



Астрокосмический Центр Физического Института им. П.Н. Лебедева, Российская Академия Наук
ул. Профсоюзная, д. 84/32, Москва 117997, Россия
Тел: +7 495 333-23-78, <http://www.radioastron.ru>

<http://www.radioastron.ru>

2.3.4.2. Международный проект «Миллиметрон»

Международный Проект «Миллиметрон» –

Космическая Обсерватория с 12 м телескопом (диапазон длин волн 20 мм ÷ 20 мкм)

Проект «Миллиметрон» разрабатывается в Астрокосмическом Центре Физического Института им. П.Н. Лебедева Российской Академии наук, НПО им. С.А. Лавочкина и ОАО «Информационные спутниковые системы» имю М.Ф. Решетнёва Роскосмоса, в кооперации с рядом российских и международных организаций.

Планируемое время запуска: 2016 год.

Назначение проекта – проведение исследований различных типов объектов Вселенной со сверхвысокой чувствительностью (в режиме одиночного телескопа) и рекордно высоким угловым разрешением (в режиме наземно-космического интерферометра) в миллиметровом и инфракрасном диапазонах длин волн.

Параметры обсерватории достигаются при помощи 12-м криогенного (4.5K) телескопа, работающего совместно с большими наземными телескопами в режиме интерферометра.

Основные параметры миссии «Миллиметрон»

Режим одиночного телескопа

Матричный фотометр/спектрометр/поляриметр:

Частоты 0.1-0.2, 0.2-0.3, 0.3-0.45, 0.72-0.76, 1 -15 ТГц
Спектральное разрешение $R = 3$ и $R = 1\,000 \div 3\,000$
Размер матрицы (пкс) 16 -1600
Болометрическая чувствительность $\sim 10^{-19}$ Вт/Гц^{0.5}

Спектрометр высокого разрешения:

Диапазон частот: 0.5÷4.5 ТГц
Спектральное разрешение: $R=10^6$

Шумовая температура = [Кв. предел]x5
Ширина полосы ПЧ 8 ГГц

Режим Наземно-Космического Интерферометра

Полосы частот (ГГц):

18-26, 31-45, 84-116, 211-275, 602-720, 787-950

Чувствительность интерферометра:

**4.0 мЯн (на 950 ГГц, шум T = 200 K); и
0.5 мЯн (на 275 ГГц, шум T = 50 K)
[при полосе 1 ГГц, накоплении 300 с
и ALMA в качестве наземного плеча].**

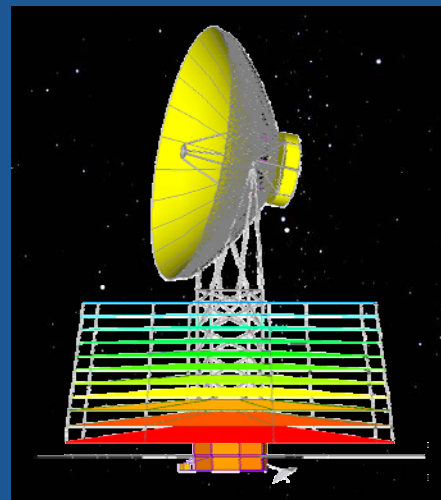
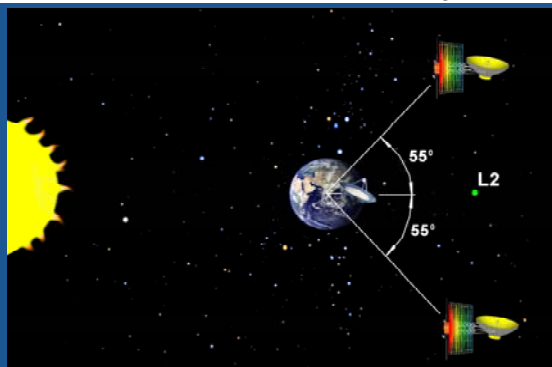
Лепесток:

**$41 \cdot 10^{-9}$ с дуги
для макс. базы
 $\sim 1,500,000$ км,
длины волны
0.3 мм.**

Орбита вокруг антисолнечной точки Лагранжа L2

Период колебаний около точки L2: 200.8 дн.

Диапазон изменения эклиптической широты: $b = \pm 55^\circ$.



Научная программа

- Обилие молекул и физические условия в атмосферах планет и их спутников.
- Изучение пылевой составляющей межпланетной среды, а также объектов в Поясе Ван Аллена и в Облаке Оорта.
- Спектрополяриметрия, картографирование и изучение переменности различных типов звезд, а также нейтронных и возможных кварковых звезд в Галактике.
- Экзопланеты: детектирование и исследование областей формирования звезд. Поиск признаков жизни во Вселенной.
- Изучение субмиллиметровых мазеров.
- Распределение темной материи в Млечном Пути и в Местной Системе галактик.
- Строение, динамика и эволюция газо-пылевой составляющей в галактиках и квазарах; вспышки звездообразования; мегамазеры.
- Обнаружение первых галактик во Вселенной и изучение их эволюции.
- Поиск признаков возможной астро-инженерной деятельности (SETI) во Вселенной.
- Изучение сверхновых в далеких галактиках и определение космологических параметров Вселенной.
- Изучение химической эволюции галактик.
- Изучение диаграммы Хаббла в суб-миллиметровом диапазоне волн.
- Определение угловых флуктуаций реликтового фона в суб-миллиметровом диапазоне волн.
- Изучение ранних стадий эволюции Вселенной от эпох рекомбинации и ре-ионизации, появления первых звезд и галактик, а также первичных черных дыр и кротовых нор.
- Изучение физических процессов в ядрах активных галактик в области горизонта событий сверхмассивных черных дыр.

Астрокосмический Центр Физического Института им. П.Н. Лебедева, Российская Академия Наук
ул. Профсоюзная, д. 84/32, Москва 117997, Россия
Тел: +7 495 333-23-78

<http://www.asc.rssi.ru/millimetron/>

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

2.3.5.1. СВЧ радиометрические системы L диапазона для исследования Земли из космоса

Арманд Н.А.¹, Тищенко Ю.Г.¹, Смирнов М.Т.¹, Аблязов В.С.², Халдин А.А.²

¹ Фрязинский филиал Учреждения Российской академии наук Института радиотехники и электроники им.
В.А. Котельникова РАН,
141190 Московская обл., г. Фрязино, пл. акад. Введенского, 1
e-mail: tishchen@ire.rssi.ru

² ФГУП СКБ Института радиотехники и электроники РАН
141190 Московская обл., г. Фрязино, пл. акад. Введенского, 1
e-mail: ahaldin@sdb.ire.rssi.ru

Введение

СВЧ радиометрические приборы, несмотря на относительно невысокую разрешающую способность, широко используются в дистанционных космических исследованиях окружающей среды. Это связано с тем, что с помощью СВЧ радиометрии можно получить такие данные, которые невозможно или очень трудно получить другими методами. К таким данным можно отнести усредненную по поверхности и глубине термодинамическую температуру исследуемого объекта, его интегральные рассеивающие свойства и информацию о комплексной диэлектрической проницаемости. Причем эти и другие данные могут быть получены в любое время суток и практически не зависят от погодных условий. Выходные сигналы СВЧ радиометров пропорциональны излучательной способности исследуемых объектов, которая зависит от характеризующих состояние объектов электрофизических параметров, а также от условий наблюдения (высота, угол наблюдения, поляризация принимаемого сигнала и т.д.).

В 70 и 80-х годах в ИРЭ РАН и ряде других организаций в СССР и за рубежом были проведены широкомасштабные теоретические исследования возможностей СВЧ радиометрии почвогрунтов, растительности и водных поверхностей в диапазоне длин волн до 30 см, а также экспериментальные исследования при измерениях с борта самолетов. Исследования показали возможность оценки, в частности, влажности почв и биомассы растительности, а также солености акваторий СВЧ радиометрическим методом. В то же время, экспериментальных данных по использованию дециметрового диапазона длин волн для разработки практических методов оценки влажности почв и биомассы растительности, солености морей из космоса недостаточно для того, чтобы сделать вывод о возможности применения СВЧ радиометрических космических оперативных наблюдений состояния почв и растительности, акваторий в региональных и глобальных масштабах.

В настоящее время для дистанционного зондирования влажности почв и солености океана разрабатывается ряд спутниковых проектов с СВЧ радиометрическими системами L диапазона. Основным прибором европейского проекта SMOS [1] является очень сложный интерферометрический СВЧ радиометр с синтезом апертуры MIRAS. Разрабатываемый в США проект SMAP [2] предполагает совместное использование сканирующего СВЧ радиометра L диапазона с антенной диаметром 6 м и скаттерометра того же диапазона. Запуск прибора SMAP запланирован на 2013 г. В России разрабатываются более простые СВЧ радиометрические системы L диапазона [3].

Научная аппаратура

С целью развития и совершенствования методов наблюдения Земли из космоса СВЧ радиометрическими средствами в дециметровом диапазоне длин волн в настоящее время в

ФГУП СКБ ИРЭ РАН разрабатываются новые научные приборы L диапазона (длина волны около 21 см):

- панорамный СВЧ радиометр для установки его на малоразмерный космический аппарат «МКА-ФКИ» №1 разработки ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», состоящий из 2-х канального СВЧ радиометрического приемника и 2-х лучевой антенной системы (планируемый запуск - 2010 г.);
- панорамный СВЧ радиометр для установки его на российский сегмент (РС) МКС, состоящий из 8-ми канального СВЧ радиометрического приемника и сборной (разборной) 8-ми лучевой антенной системы (планируемая установка - 2010 г.).

В таблице 1 приведены основные тактико-технические характеристики разрабатываемых радиометров.

Таблица 1

**Основные тактико-технические характеристики
радиометров дециметрового диапазона**

Космическая платформа	«МКА-ФКИ» №1	РС МКС
Средняя частота, МГц	1410	1410
Полоса принимаемых частот, МГц	20	20
Флуктуационная чувствительность, К	0,3	0,2
Диапазон измеряемых сигналов, К	10 - 320	10 - 320
Поляризация	линейная	линейная
Количество лучей	2	8
Полоса обзора, км	700	400
Пространственное разрешение, км	350	50
Потребляемая мощность, ВА	≤ 60	≤ 120
Масса, кг	≤ 13	≤ 35
Размеры, мм		
антенна	800x510x40	1200x1920x50
Радиометр	350x300x70	670x250x210

Приборы близки по своей организации, но имеют различные возможности по обзору пространства. Первый из этих приборов имеет антенну меньшего размера и соответственно более низкое пространственное разрешение. Панорамный обзор пространства обеспечиваются путем одновременного измерения СВЧ излучения с разных участков земной поверхности с помощью 2-х лучевой антенны и 2-х канального радиометрического приемника на «МКА-ФКИ» №1 и, соответственно, 8-ми лучевой антенны и 8-ми канального приемника на РС МКС.

На рис. 1 показана схема полетной конфигурации космического аппарата «МКА-ФКИ» №1 и СВЧ радиометра дециметрового диапазона на нем. На рис. 2. представлена аналогичная схема для планируемых экспериментов на РС МКС.

К настоящему времени для «МКА-ФКИ» №1 изготовлены технологические образцы антенной системы и СВЧ радиометрического приемника (Рис. 3), подготовлено техническое задание на космический эксперимент, сформирована Научная программа космических экспериментов в ходе реализации проекта «МКА-ПН1».

Для РС МКС изготовлены технологические образцы сборной (раскладывающейся) антенной системы и СВЧ радиометрического приемника, подготовлено техническое задание на космический эксперимент, сформирована Научная программа космических экспериментов на РС МКС. Одной из особенностей конструкции данной радиометрической системы является необходимость изготовления раскладывающейся

антенны для доставки на орбиту и последующего монтажа снаружи модуля РС МКС. На рис. 4 представлена конструкция СВЧ радиометрической системы в собранном состоянии.

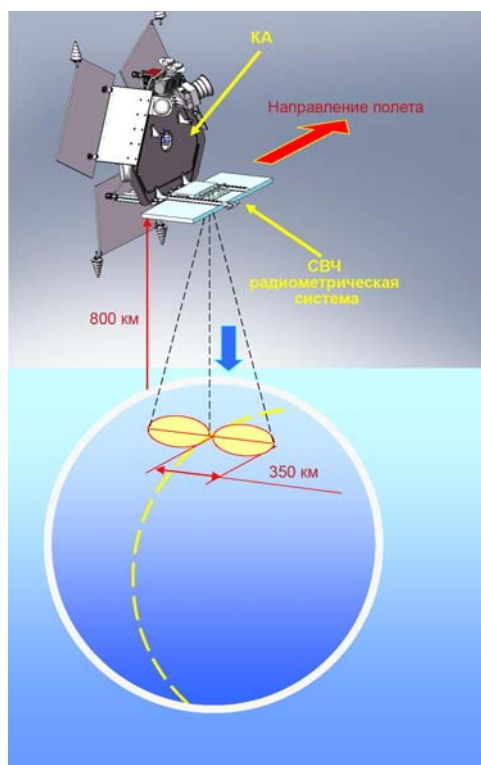


Рис. 1. Полетная конфигурация малого космического аппарата и радиометра дециметрового диапазона

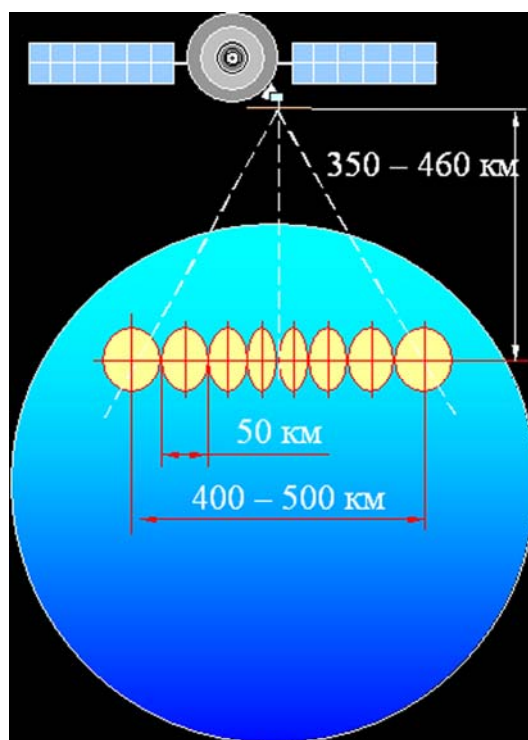


Рис. 2. Полетная конфигурация радиометра дециметрового диапазона на РС МКС

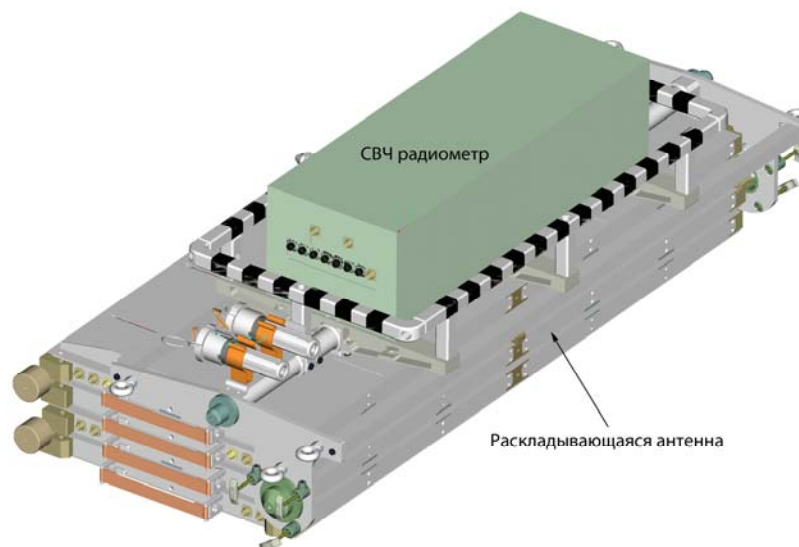


Рис. 3. СВЧ радиометрический комплекс для РС МКС в сложенном состоянии

Научные программы экспериментов

Научные программы экспериментов космического проекта «МКА-ПН1» и для РС МКС направлены на решение задач по разработке радиофизических методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса в перспективном дециметровом диапазоне электромагнитных волн для изучения физических явлений и процессов в системе атмосфера - земная поверхность; по исследованию влияния внешних факторов (галактический фон, ионосфера и др.) на измеряемые характеристики исследуемых объектов; по изучению помеховой обстановки при проведении исследований; по развитию методов совместной обработки данных с разным пространственным разрешением. Реализация Научных программ позволит оценить эффективность СВЧ радиометрического метода определения влажности почв и биомассы растительности, солености морей из космоса (точность оценки влажности и биомассы, солености, пространственные и временные вариации параметров почв и растительности). Ожидаемое число возможных градаций в диапазоне изменений характерных величин влажности и биомассы - до 5 для «МКА-ФКИ» №1 и до 7 для РС МКС, солености – до 3 для «МКА-ФКИ» №1 и до 5 для РС МКС. Будут развиты необходимые модели и алгоритмы, отработана методика проведения соответствующих космических измерений, калибровки и валидации экспериментальных данных. Будут получены данные для решения целого ряда научных и практических задач:

- картирование влажности почв (в т.ч. под лесным пологом) по территориям регионального и глобального масштабов,
- изучение солености водных акваторий,
- исследование гляциальных и мерзлотных зон,
- изучение энергообмена системы океан-суша-атмосфера (совместно с данными других датчиков),
- развитие методов совместной обработки данных с разным пространственным разрешением.

Реализация Научных программ позволит разработать радиофизические методы дистанционного зондирования Земли в перспективном диапазоне электромагнитных волн для изучения физических явлений и процессов в системе атмосфера-земная поверхность, развить методы использования дециметрового диапазона волн для оценки влажности почв

и биомассы растительности, солености морей из космоса в региональных и глобальных масштабах, оценить возможность практического использования разработанных методов в научных и прикладных целях.

В ходе реализации Научных программ экспериментов должен быть решен широкий круг научных задач, составной частью которых является проведение сопутствующих подспутниковых (калибровочных) измерений. Такие измерения необходимы для:

- калибровки приборов дистанционного зондирования, контроля их работоспособности в период функционирования, оценки информативности экспериментальных данных;
- разработки новых, усовершенствования и проверки существующих методик восстановления геофизических параметров;
- отработки методик совместной интерпретации космических данных, полученных в различных спектральных интервалах, и результатов синхронных подспутниковых измерений;
- валидации космических данных;
- комплексного изучения природных объектов путем использования информации, получаемой с различных уровней и с разным пространственным разрешением.

Заключение

Планируемое использование разрабатываемых СВЧ радиометров связано с решением задач по разработке радиофизических методов дистанционного зондирования Земли из космоса в перспективном дециметровом диапазоне электромагнитных волн для изучения физических явлений и процессов в системе атмосфера-земная поверхность; влиянию внешних факторов (галактический фон, ионосфера и др.) на измеряемые характеристики объектов; изучению помеховой обстановки; по развитию методов совместной обработки данных с разным пространственным разрешением.

Научную программу космических экспериментов в ходе реализации космического проекта «МКА-ПН1» целесообразно скоординировать с подобными исследованиями в рамках существующих и планируемых к реализации в ближайшей перспективе отечественных и зарубежных космических проектов.

Литература

- [1] Hubert M. J. P. Barré, Berthyl Duesmann, and Yann H. Kerr, "SMOS: The Mission and the System," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2008, Vol. 46, n.3, pp 587-593.
- [2] <http://smap.jpl.nasa.gov>
- [3] Арманд Н.А., М.Т. Смирнов, Ю.Г. Тищенко. Аппаратурное обеспечение научно-прикладных исследований на борту российского сегмента международной космической станции в направлениях изучения природных ресурсов земли и экологического мониторинга// Космонавтика и ракетостроение, 2007, № 4 (49), стр. 91-94

2.3.6. НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобелцына Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова

2.3.6.1. Исследования УФ излучения верхней атмосферы

В 2009 г. были закончены работы по созданию новой аппаратуры для исследования УФ излучения на спутнике «Университетский-Татьяна-2», состоящей из детекторов УФ (300-400 нм), красного излучения (600-700 нм) и детектора электронов с площадью 400 см², пороговой энергией 1 МэВ. Детектор электронов впервые даст возможность измерять «вспышки» потоков электронов синхронно со вспышками атмосферного излучения. В сентябре 2009 г. спутник «Университетский-Татьяна-2» выведен на солнечно-синхронную орбиту с высотой 820 км и наклоном 98,8 град. Данные нового спутника позволят выяснить вопросы, поставленные ранее в измерениях на спутнике «Университетский-Татьяна»:

1. какой поток электронов выходит в магнитосферу при электрических разрядах в верхней атмосфере, существуют ли «вспышки» высыпавшихся из магнитосферы электронов.
2. как распределены на карте Земли разряды различного типа.
3. существует ли корреляция между вариациями потоков электронов на орбите и вариациями свечения атмосферы вблизи экватора.
4. какова природа связи УФ вспышек с фазой луны.

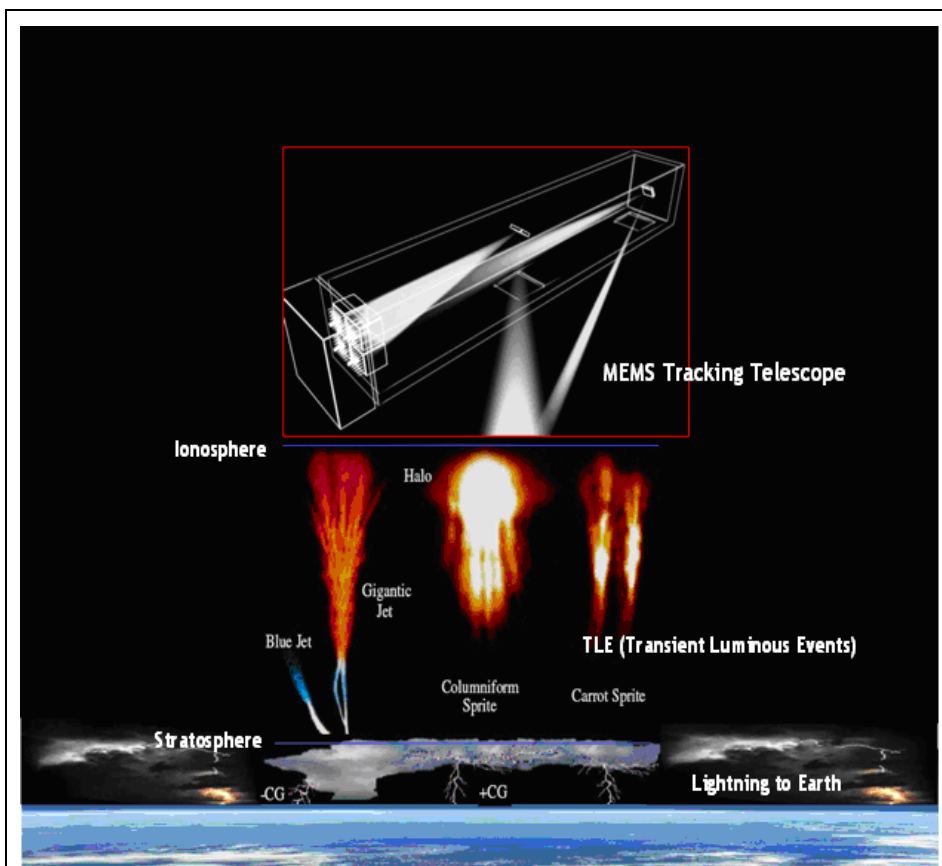


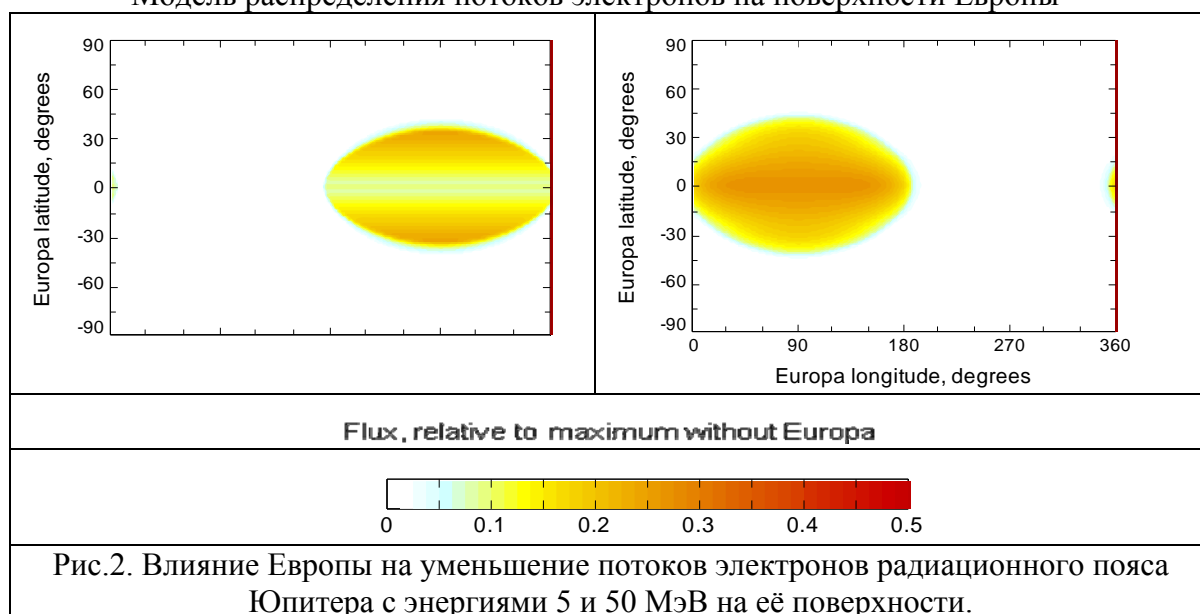
Рис.1. Схема эксперимента МТЕЛ для изучения ультрафиолетовых транзиев на спутнике «Университетский-Татьяна-2»

2.3.6.2. Исследования по космической дозиметрии

Российский КА «Лаплас»: посадка на спутник Юпитера - Европу, поиск признаков жизни. В рамках программы по подготовке российской космической экспедиции «Лаплас» к Юпитеру и его спутнику Европе проведены следующие исследования:

- рассмотрены общие методы оценки радиационной обстановки, сведения о трассах полёта и ионизирующих излучениях космического пространства, воздействия которых ожидается при полёте КА миссии «Лаплас»;
- обобщены имеющиеся экспериментальные данные по измерениям магнитного поля и потоков заряженных частиц в околопланетном пространстве Юпитера;
- проведён сравнительный анализ моделей главного магнитного поля и радиационных поясов Юпитера;
- выполнены предварительные расчёты радиационных условий на траекториях гравитационных манёвров КА миссии «Лаплас» в околопланетном пространстве Юпитера;
- рассчитаны потоки заряженных частиц и доз радиации в районе орбиты Европы, определены факторы, влияющие на экранирование Европой потоков заряженных частиц в своей окрестности, и проведены предварительные расчёты пространственного распределения потоков релятивистских электронов на поверхности Европы;
- даны предварительные оценки радиационных условий полёта КА на межпланетной части траектории.

Модель распределения потоков электронов на поверхности Европы



- С целью оценки радиационной опасности при освоении Луны совместно с сотрудниками ИЯИ РАН разработана расчетная методика прогнозирования радиационных условий на Луне, учитывающая бомбардировку лунной поверхности потоками космических лучей (галактических и солнечных) и возникновение в лунном грунте потоков вторичных протонов и нейтронов. На основе разработанной методики рассчитаны значения среднетканевой дозы на лунной поверхности и в лунном грунте в годы минимума и максимума солнечной активности.

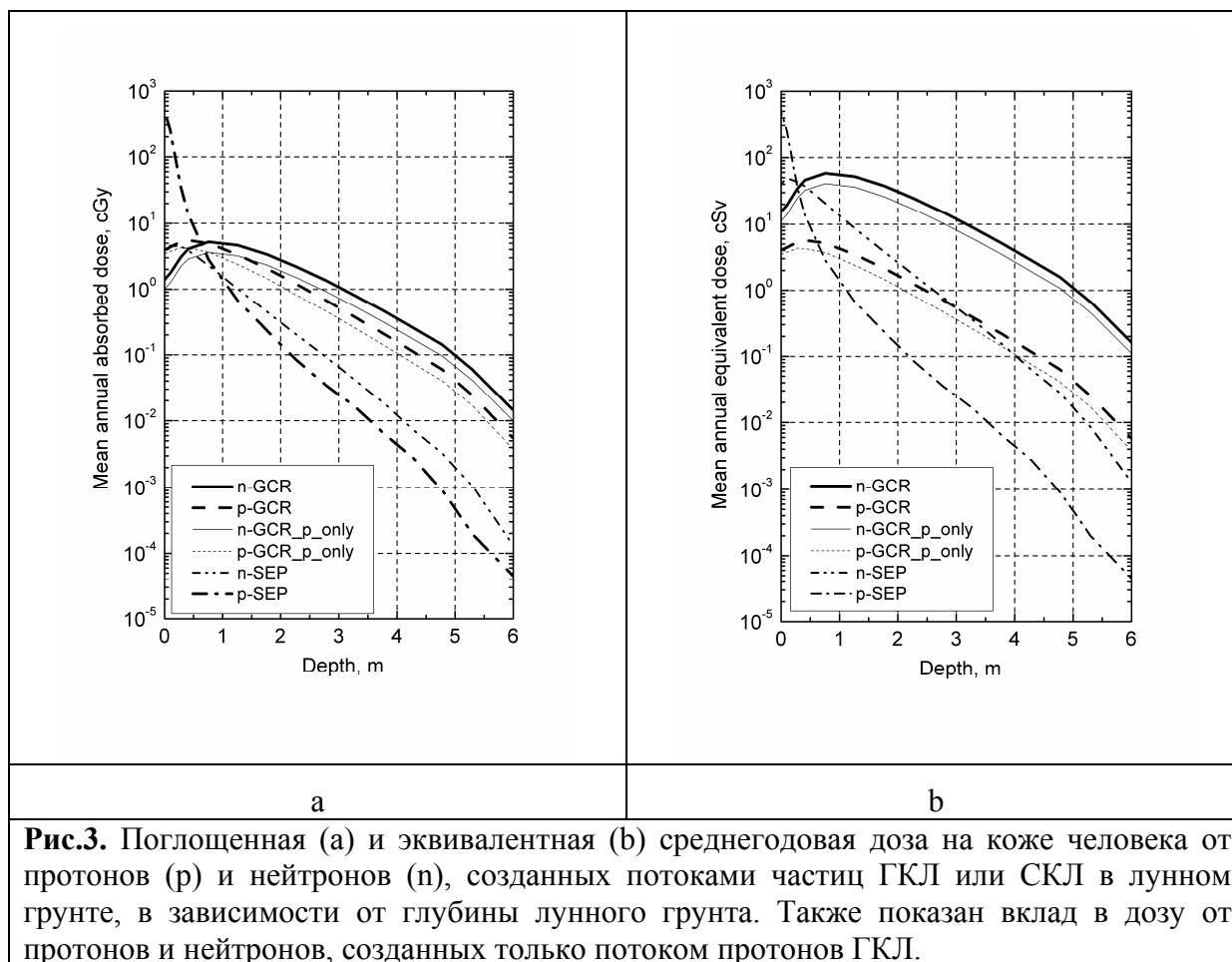


Рис.3. Поглощенная (а) и эквивалентная (б) среднегодовая доза на коже человека от протонов (р) и нейтронов (n), созданных потоками частиц ГКЛ или СКЛ в лунном грунте, в зависимости от глубины лунного грунта. Также показан вклад в дозу от протонов и нейтронов, созданных только потоком протонов ГКЛ.

2.3.6.3. Планируемые эксперименты

Исследования солнечных энергичных частиц, магнитосферы и радиационных поясов Земли, а также космических лучей высоких энергий остаются приоритетными направлениями космической тематики института. Ниже приведены проекты спутниковых экспериментов, находящиеся в стадии разработки

Эксперимент РЭЛЕК на борту российского малого спутника

Главной целью проекта РЭЛЕК (релятивистские электроны) является изучение влияния релятивистских электронов на верхнюю атмосферу, изучение транзиентных молниевых эффектов в верхней атмосфере, изучение высыпаний релятивистских электронов и дропаутов энергичных электронов в процессе радиальной диффузии и взаимодействия с электромагнитными волнами в динамичной магнитосфере.

Дополнительными целями проекта являются изучение взаимодействия литосферы с ионосферой (проблема землетрясений), связей атмосферы с ионосферой (проблема гроз), дозиметрия и проблема одиночных сбоев, принимая во внимание нейтронную компоненту радиации.

Главными особенностями проекта являются:

- одновременные измерения потоков релятивистских электронов в околоземном пространстве и широкополосные мониторинговые наблюдения верхней атмосферы (УФ, рентгеновские, гамма),
- измерения релятивистских электронов в широком диапазоне энергий (до 10 МэВ) с временным разрешением ~ 100 мс,
- возможность измерения спектров и питч-угловых распределений

- измерения низких потоков релятивистских электронов благодаря большому геометрическому фактору детекторов. (2010 г.)

ГЛОНАСС, «Электро», «Метеор-М»

Продолжается программа экспериментов на геостационарных ИСЗ ГЛОНАСС и «Электро», а также полярном ИСЗ «Метеор-М», но на основе разработанных и созданных в НИИЯФ МГУ спектрометров нового поколения для обнаружения заряженных частиц в широком энергетическом диапазоне (от десятков кэВ до МэВ).

«Интергелиос» (2014-2015)

Цель эксперимента - исследование нейтральной компоненты излучения солнечных вспышек (нейтроны, рентгеновское и γ -излучение) вблизи Солнца (до 25 радиусов Солнца).

Эксперимент «НУКЛОН»

Эксперимент «Нуклон» направлен на исследование первичного космического излучения. Основная научная задача проекта состоит в измерении поэлементных энергетических спектров и химического состава галактических космических лучей в экстремально широком энергетическом диапазоне 10^{12} - 10^{15} эВ с целью поиска и исследования основных источников космических лучей (КЛ), определения механизмов ускорения КЛ и получения количественных характеристик распространения космических лучей высоких энергий в Галактике.

ГАММАСКОП

Космический эксперимент с широкоапертурным гамма-телескопом нового поколения «Гаммаскоп». В этом приборе впервые должно быть реализовано построение изображений в гамма-диапазоне больших областей неба (вплоть до половины небесной сферы) для изучения временных астрофизических явлений и регулярных долговременных наблюдений астрофизических источников.

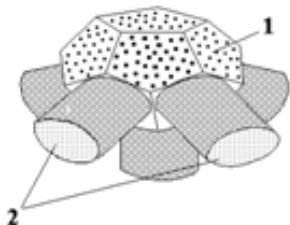


Рис.4. Гаммаскоп.

Программа научно-образовательных спутников:

Российско-индийский спутник YouthSat

Основной целью проекта YouthSat является реализация космического эксперимента по исследованию солнечной вспышечной активности на борту микроспутника. Использование микроспутника означает привлечение молодых исследователей, т.е. студентов и аспирантов на всех стадиях подготовки и реализации космического эксперимента. Таким образом, проект имеет научные и образовательные цели.

Главная научная цель проекта состоит в изучении солнечной активности при комплексном мониторинге процессов выделения энергии на Солнце в широкой полосе электромагнитных излучений и заряженных частицах. Такие измерения могут быть использованы для краткосрочного предсказания появления потоков частиц в межпланетной среде и около Земли, которые могут быть опасны для обитаемых и

автоматических космических полетов. Научное оборудование включает прибор СолРад. Будет измеряться временной профиль солнечной вспышки в жестких рентгеновских лучах (10-100 кэВ), а широкополосный спектр (0.02-10.0 МэВ) будет измеряться как часть режима работы прибора. Другая часть прибора предназначена для измерения электронов и протонов в диапазоне энергий 0.3-3.0 МэВ и 3-100 МэВ соответственно. (2010 г.)

Научно-образовательный малый спутник МГУ «Михайло Ломоносов»

На борту университетского спутника «Михайло Ломоносов» будет проведен эксперимент «ТУС». Проект ТУС (трековая установка) предусматривает изучение энергетического спектра космических лучей при энергиях выше 10^{19} эВ с помощью оптического детектора, размещенного на борту космических аппаратов. Для эксперимента ТУС разработан механизм разворачивания зеркала в космосе. (2011 год)

2.3.7. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

2.3.7.1. Проект «ГАММА-400: исследование высокоэнергичного гамма-излучение

Физический институт им. П.Н. Лебедева (Россия), Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Россия), Институт физики высоких энергий (Протвино, Россия), Институт космических исследований (Россия), Физико-Технический институт им А.Ф. Иоффе (Санкт-Петербург, Россия), НПО им С.А. Лавочкина (Россия), Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Trieste (Триест, Италия); Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Roma 2, and Physics Department of University of Rome “Tor Vergata, (Рим, Италия); Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Firenze, and Physics Department of University of Florence (Флоренция, Италия)

Гамма-телескоп «ГАММА-400» предназначен для исследования космического гамма-излучения в диапазоне энергий 0,1-3000 ГэВ, регистрации электронов и позитронов космических лучей с энергией выше 0,1 ГэВ, поиска и исследования гамма-всплесков сверхвысокой энергии (более 1 ГэВ), солнечных вспышек.

Научные задачи исследования «ГАММА-400»:

- Поиск новых и изучение известных галактических и внегалактических дискретных источников гамма-излучения сверхвысокой энергии, которыми могут быть, в частности, остатки сверхновых, пульсары, аккрецирующие объекты, микроквазары, галактики с активными ядрами, блазары, квазары; измерение их энергетических спектров и светимости.
- Отождествление дискретных гамма-источников с известными источниками в других диапазонах энергии, в том числе, и с дискретными источниками с энергией излучения более 10^{12} эВ, зарегистрированными наземными гамма-телескопами.
- Мониторинг светимости и энергетического спектра гамма-источников сверхвысокой энергии для изучения природы их переменности.
- Поиск и исследование гамма-всплесков сверхвысокой энергии (более 1 ГэВ).
- Измерения энергетических спектров галактического и внегалактического диффузного гамма-излучения. Поиск спектральных аномалий. Поиск «гамма-линий» в дискретных гамма-источниках, в диффузном гамма-излучении, возникающих при аннигиляции и распаде компонентов темной материи.

- Регистрация потоков электронов и позитронов с энергией выше 1 ГэВ, измерение энергетических спектров этих частиц, выделение особенностей их спектров, которые могли бы быть связаны с процессами аннигиляции и распада компонентов темной материи.
- Регистрация высокоэнергетического гамма-излучения и потоков электронов и позитронов от солнечных вспышек.

Физическая схема «ГАММА-400» представлена на рисунке.4.

Гамма-телескоп «ГАММА-400» является следующим поколением гамма-телескопов с расширенным диапазоном энергий, улучшенным угловым и энергетическим разрешением. Сравнение характеристик «ГАММА-400» и FERMI-LAT приведено в таблице 1.

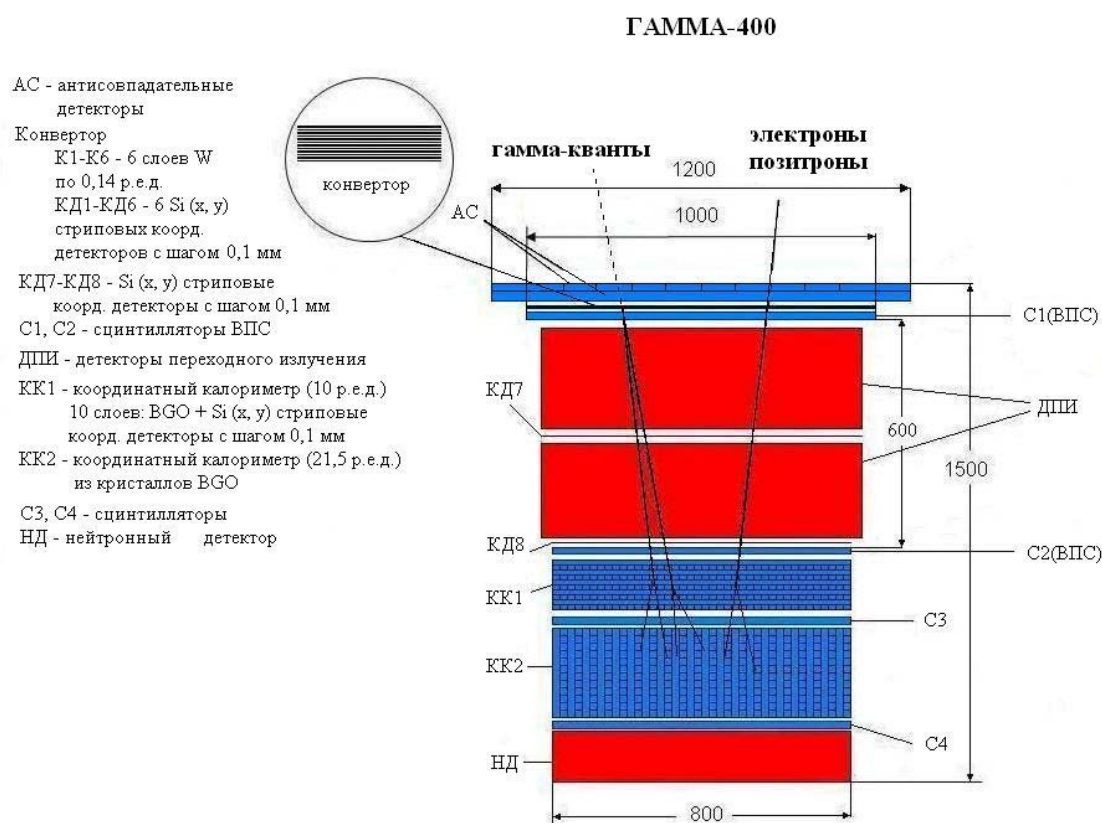


Рис. 4. Физическая схема телескопа ГАММА-400

Таблица 1

	ГАММА-400	FERMI-LAT
Орбита	500-300000 км	560 км
Диапазон энергий	100 МэВ - 3000 ГэВ	100 МэВ - 100 ГэВ
Чувствительная площадь	0,64 м²	1,6 м²
Координатные детекторы	Si стрипы с шагом 0,1 мм	Si стрипы с шагом 0,22 мм
Угловое разрешение (Еγ > 100 ГэВ)	~0,01°	~0,05°
Калориметр - толщина, р.е.д.	ВGO + Si стрипы 31,5	CsI 8,5

Энергетическое разрешение ($E_\gamma > 10$ ГэВ)	~1%	~10%
Режекция протонов	10^6	10^4
Чувствительность, фотон/см ² с ($E_\gamma > 100$ МэВ)	$\sim 5 \times 10^{-9}$	$\sim 5 \times 10^{-9}$

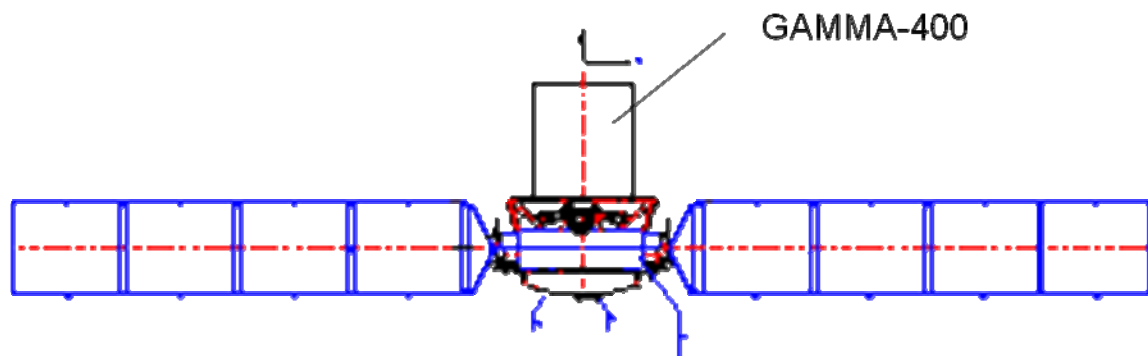


Рис.2. ГАММА-400 на борту КА «Навигатор»

2.3.7.2. Эксперимент «МОНИКА»: исследование ионного состава в солнечных вспышках

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Россия)
 Физический институт им. П.Н. Лебедева (Россия)
 Объединённый институт ядерных исследований (Россия)
 НПО им С.А. Лавочкина (Россия)

Целью эксперимента «МОНИКА» является изучение механизмов генерации космических лучей в активных процессах на Солнце и в гелиосфере, мониторинг ядерного, изотопного и ионного состава космических лучей в околоземном пространстве.

Научными задачами КЭ «МОНИКА» являются:

- Измерение ионного состава потоков СКЛ в диапазоне энергий 10-300 МэВ/н для отдельных солнечных событий и изучение его эволюции во время развития события. Для изучения ионного состава предполагается в качестве сепаратора использовать магнитное поле Земли.
- Измерение ядерного и изотопного состава, энергетических спектров СКЛ в диапазоне энергий 10-300 МэВ/н в период развития активных процессов на Солнце.
- Изучение проникновения СКЛ в магнитосферу Земли в условиях ее сильных возмущений во время солнечно-магнитосферных событий.
- Измерение ионного состава АКЛ с энергиями более 10 МэВ/н, измерение энергетических спектров АКЛ.
- Измерение модуляции потоков ГКЛ и АКЛ с целью изучения условий распространения частиц в гелиосфере.
- Измерение потоков ядер в радиационном поясе Земли, а также потоков ядер альбедо.

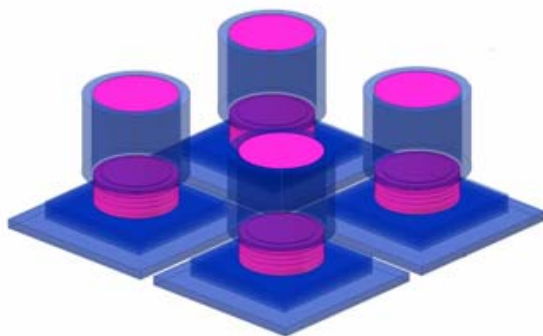


Рис. 3

Для выполнения поставленной цели и задач предполагается провести непрерывные измерения потоков ядер от водорода до никеля в энергетическом диапазоне от 10 до 300 МэВ на нуклон.

НА «МОНИКА» имеет следующий состав: детекторная система, электроника детекторов, триггерная система, блок сбора научной информации.

Детекторная система (рис.3) состоит из спектрометра и протонного монитора. Спектрометр представляет собой четыре

отдельных телескопа, каждый из которых включает полупроводниковый спектрометр-телескоп, сцинтилляционный калориметр и систему антисовпадений. Спектрометр предназначен для регистрации отдельных ядер с энергиями 10÷300 МэВ на нуклон, входящих в аперттуру прибора, их идентификации, измерения энергий и углов прилета частиц. Протонный монитор состоит калориметра и системы антисовпадений. Монитор предназначен для регистрации потоков протонов СКЛ с энергиями в трех узких диапазонах энергий в интервале от 20 до 120 МэВ.

Характеристики НА «МОНИКА»

Энергетический диапазон: 10–300 МэВ на нуклон для ядер.

Угловое разрешение – порядка 1 градус.

Энергетическое разрешение – порядка 1 %.

Светосила – около 100 см²ср.

Точность временной привязки – порядка 10⁻³с.

Апертура – 90 градусов (±45 градусов).

Масса – не более 50 кг.

Габариты – 650×650×300 мм.

Энергопотребление – не более 80 Вт.

Собственное ЗУ, объемом 1 Гбайт, обеспечивающее накопление информации в течение суток.

Условия проведения эксперимента МОНИКА

Прибор устанавливается на малоразмерный космический аппарат, разрабатываемый НПО им. С.А. Лавочкина.

Орбита КА круговая, высота орбиты 600 - 700 км. Наклонение орбиты не менее 80°. На рабочих витках вертикальная ось «+Z» прибора «МОНИКА» направлена в зенит с точностью не хуже 0.5°, ось «+X» лежит в плоскости орбиты и направлена в ту же сторону, что и вектор скорости КА. Оси «X» и «Y» могут менять ориентацию в пространстве, при этом известно их положение в пространстве в каждый момент времени с точностью не хуже 0.5°. Точность знания положения центра масс прибора не хуже 1 км. Срок активного существования КА не менее трех лет.

При проведении эксперимента ожидается зарегистрировать

в случае мощного солнечного события:

ионов O - 10⁴-10⁵;

ионов Fe - 10³-10⁴;

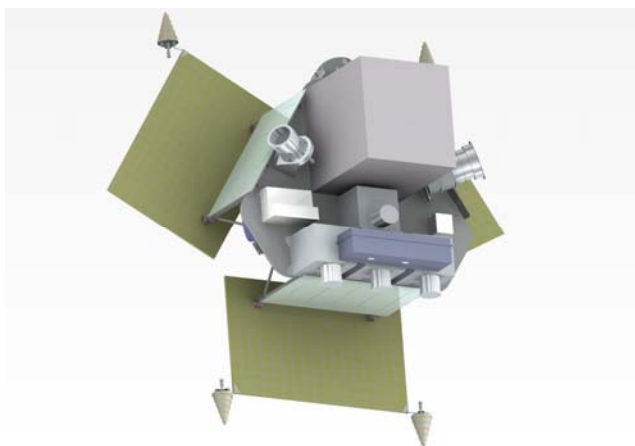
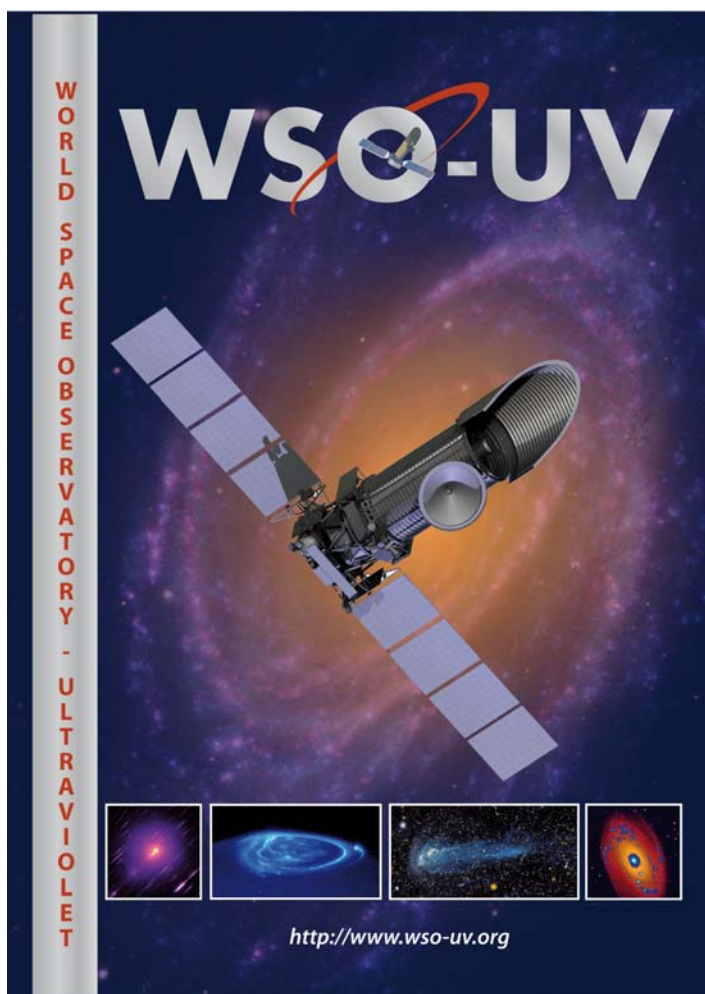


Рис. 4

аномальных КЛ в год (минимум солнечной активности):
 ионов O - 10^4 - 10^5 ;
 ионов Ne - 10^3 - 10^4 ;
 Галактических КЛ в год
 (минимум солнечной активности):
 ядер Fe - 10^3 .

2.3.8. Институт астрономии РАН

2.3.8.1. Всемирная космическая обсерватория - Ультрафиолет (проект «СПЕКТР-УФ»)



Всемирная космическая обсерватория – Ультрафиолет (ВКО-УФ, «Спектр-УФ») представляет собой проект крупной космической обсерватории для работы в недоступном для наблюдений с земной поверхности ультрафиолетовом участке спектра (110-300 нм). Основным инструментом обсерватории - крупный космический телескоп диаметром главного зеркала 1.7 м - будет оснащен спектрографами высокого и низкого разрешения и камерами для построения высококачественных изображений в УФ и оптическом диапазоне. Такой набор научных приборов позволяет обеспечить решение широкого класса наблюдательных задач. ВКО-УФ будет работать как многоцелевая космическая обсерватория по следующим программам: базовая программа, национальные программы стран – участниц проекта и программа,

открытая для всего международного астрономического сообщества. Основными направлениями базовой и российской национальной программ являются: а) физика ранней Вселенной; б) звездообразование, химическая эволюция галактик; в) аккреционные

процессы в астрофизике; г) межзвездная среда (плотные межзвездные облака, дейтерий в локальной межзвездной среде, ионизационная структура МЗС); д) физика звездных атмосфер, потеря массы, хромосферная активность; е) физика и химия планетных атмосфер и комет, включая планеты вокруг других звезд.

По возможностям проект ВКО--УФ аналогичен, а по некоторым характеристикам превосходит американский Космический Телескоп им. Хаббла (КТХ).

Обсерватория ВКО-УФ будет работать на геосинхронной орбите с наклоном 51.4 градусов. Выбор геосинхронной орбиты был сделан исходя из следующих критериев:

- а) минимизация нахождения аппарата в радиационных поясах Земли;
- б) возможности ракеты-носителя;
- в) обеспечение зон длительной видимости объектов;
- г) минимальное время нахождения в тени Земли;
- д) стабильность орбиты;
- е) доступное техническое оборудование космического и наземного сегментов для радиосвязи.

Для запуска космического аппарата была выбрана ракета-носитель "Зенит-2СБ" с разгонным блоком "Фрегат".

Работы по проекту ведутся Россией совместно с Испанией и Германией при участии Украины и Казахстана.

Планируемый год запуска – 2014.

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

2.3.9.1. Эксперимент КОНУС-УФ по исследованию космических гамма-всплесков и мягких гамма-репитеров на КА «Спектр-УФ»

Научный руководитель – член-корр. РАН Е.П. Мазец

Проведение эксперимента КОНУС-УФ по исследованию космических гамма-всплесков и мягких гамма-репитеров планируется в составе проекта «Спектр-УФ» в период времени начиная с 2014г. Его задачей является исследование космических гамма-всплесков и редкого их класса - источников мягких повторных всплесков, открытых ранее в экспериментах ФТИ и получивших название гамма-репитеры. Все эти явления связаны с экстремальным взрывным энерговыделением электромагнитного излучения, природа которого является одной из важнейших нерешенных проблем астрофизики. Надежная и адекватная задаче научная аппаратура КОНУС была разработана ФТИ РАН и более 15 лет непрерывно функционирует на американском космическом аппарате «Винд». Совместный российско-американский эксперимент КОНУС-ВИНД обеспечивает получение кривых блеска, энергетических спектров и быстрой спектральной переменности гамма-всплесков, которые широко востребованы в комплексных всеволновых исследованиях этого явления в рамках обширной международной кооперации на наземных и космических телескопах. Для таких наблюдений исключительно благоприятна сильно вытянутая орбита «Винда» с апогеем 0,5 – 1,5 млн. км, обеспечивающая обзор всей небесной сферы без существенных потерь возможности наблюдений при прохождении через радиационные пояса в районе перигея. Удаленная от Земли орбита КА «Спектр-УФ» также является оптимальной для подобных исследований.

Российско-американский эксперимент КОНУС-ВИНД по важности, качеству и полноте получаемой информации выдвинулся на передовые позиции в исследованиях наиболее мощных взрывных явлений во Вселенной. Задачей нового эксперимента является продолжение этих исследований после завершения летной программы эксперимента КОНУС-ВИНД.

Исходя из возможностей КА «Спектр-УФ» для реализации эксперимента была предложена система из двух детекторных блоков «КОНУС-УФ-Д» с полем зрения 2π стерadians относительно оси симметрии детекторов и одного блока электроники «КОНУС-УФ-БЭ». Размещение детекторных блоков на переходной ферме между базовым модулем НАВИГАТОР и комплексом научной аппаратуры КА «Спектр-УФ» телескопом Т170 обеспечивает необходимую для проведения эксперимента возможность обзора каждым из детекторных блоков половины небесной полусферы.

Научная аппаратура эксперимента представляет собой сцинтилляционный гамма-спектрометр, состоящий из двух идентичных детекторов гамма-квантов и электронного блока для регистрации и предварительной обработки сигналов детекторов. Каждый детектор содержит высокотехнологичный спектрометрический 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 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. Детекторы аппаратуры КОНУС-УФ не имеют аналогов в мировой практике регистрации космических гамма-всплесков.

Организация измерений характеристик гамма-всплесков в эксперименте КОНУС-УФ 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 проводятся 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 – 1 минута. В режиме ВСПЛЕСК интенсивность излучения измеряется в тех же энергетических интервалах с временным разрешением от 2-х мсек до 64-х мсек. Многоканальные спектры в режиме ВСПЛЕСК также измеряются в тех же энергетических диапазонах, как и в режиме ФОН, но с временным разрешением от 100 мсек до 2-х сек. В НА предусмотрен специальный «интегральный» канал, ориентированный на исследования чрезвычайно редких крайне интенсивных гигантских вспышек гамма-репитеров. Аппаратура обеспечивает широкие возможности регулировки коэффициентов усиления линейных трактов с помощью системы цифровых команд. Аппаратура КОНУС-УФ имеет вес 25 кг, потребляемая мощность не превышает 10-12 Вт, суточная информативность составляет 50 Мб.

Эксперимент КОНУС-УФ является необходимым шагом в подготовке продолжения высокоэффективных отечественных исследований в этом актуальном направлении внеатмосферной астрономии.