

## 2.3. ИНФОРМАЦИЯ О ПРОЕКТАХ ФЕДЕРАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ РОССИИ, НАХОДЯЩИХСЯ В СТАДИИ РАЗРАБОТКИ

### 2.3.1. ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

#### 2.3.1.1. Проект «Фобос-Грунт»

Продолжается подготовка космического аппарата и комплекса научной аппаратуры по проекту «Фобос-Грунт».

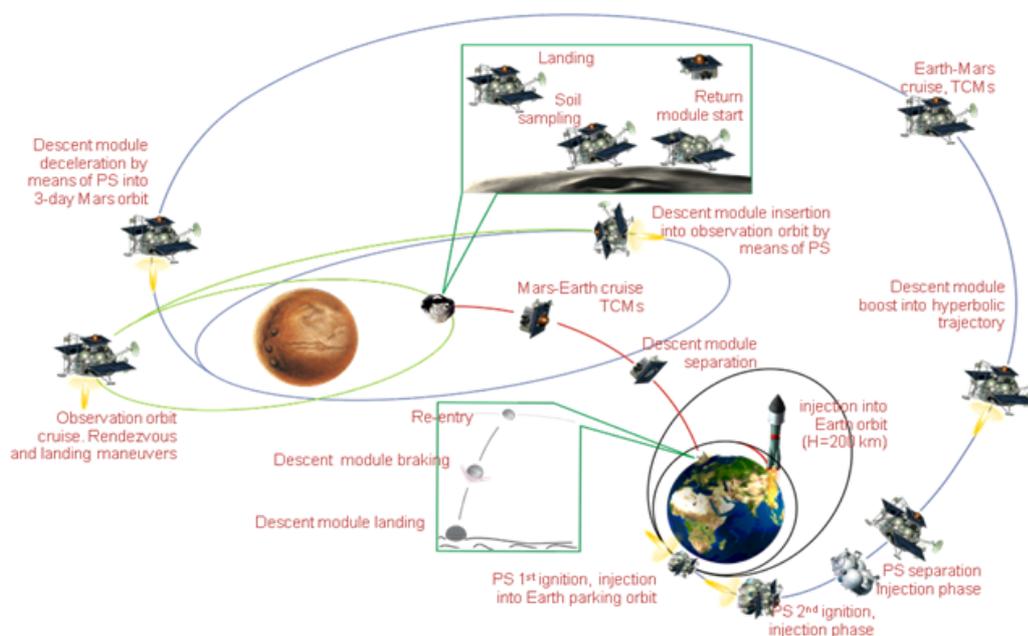
Выбор Фобоса в качестве объекта исследований для следующей Российской межпланетной миссии связан с возможностью решить, либо приблизиться к решению широкого спектра научных задач физики Солнечной системы:

- исследование физико-химических характеристик вещества Фобоса, что может дать информацию о свойствах и эволюции реликтового вещества Солнечной системы;
- приблизиться к пониманию происхождения марсианских спутников, их отношения к Марсу; решение этой проблемы может быть ключом к решению проблемы происхождения спутниковых систем у других планет;
- определение детальных параметров орбитального и собственного вращения Фобоса важны для изучения внутреннего строения этого малого тела, эволюции его орбиты;
- исследование физических условий среды вблизи Марса — пылевой составляющей, электрических и магнитных полей, характеристик взаимодействия солнечного ветра с плазменным окружением Марса;
- мониторинг сезонных и климатических вариаций атмосферы и на поверхности Марса.

Особенностью планируемой миссии к Фобосу являются два обстоятельства: (1) доставка на Землю образцов вещества Фобоса и (2) исследование системы Марса, включающей саму планету, его спутники и околомарсианское пространство.



PHOBOS SAMPLE RETURN  
MISSION PROFILE



Космический аппарат для экспедиции «Фобос-Грунт» разработан в Научно-производственном объединении им. С.А. Лавочкина. Космический аппарат «Фобос-Грунт» состоит из перелетно-орбитального модуля, маршевой двигательной установки, тормозной двигательной установки и возвращаемого аппарата, несущего спускаемый (на Землю) аппарат.

Сценарий экспедиции можно разбить на несколько этапов. Первый этап — запуск космического аппарата (КА), вывод его на околоземную орбиту и модификация этой орбиты для оптимизации работы бортовых систем и условий выведения КА на отлетную траекторию к Марсу. 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 мес. Подлет к Марсу происходит по пролетной параболической траектории с высотой перицентра около 700 км. Следующий этап экспедиции — формирование орбиты космического аппарата для сближения с Фобосом. Этот этап с помощью трехимпульсной схемы был уже отработан в предыдущей экспедиции к Фобосу. В соответствии с этой схемой 1-й импульс торможения при подлете по пролетной параболической траектории КА к Марсу выводит КА на первую эллиптическую орбиту вокруг Марса. Параметры этой орбиты: перицентр ~700 км, апоцентр около 77 000 км, период обращения — 3 суток. Вторым импульсом, который также выполняется в перицентре, увеличивает перицентр КА до высоты 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 до 200 км. Работа на этой, так называемой, орбите наблюдения, необходима для проведения точных навигационных измерений

взаимного движения КА и Фобоса, необходимых 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 7,66 ч (орбитальный период). Работа на этой орбите необходима для уточнения взаимного положения двух тел и изучения места посадки на поверхности Фобоса.

Посадка на Фобос планируется в экваториальной области. Этот этап экспедиции, пожалуй, наиболее критический. Он сводится к стыковке двух тел, одно из которых пассивное, и выполнение операций по стыковке должны выполняться на значительных расстояниях от Земли, при которых наземная поддержка этих операций ограничена (время распространения сигнала в одном направлении — около 20 мин). Кроме того, Фобос — тело неправильной формы, гравитационное поле которого недостаточно изучено, имеющиеся изображения поверхности недостаточны для точного выбора места посадки аппарата. Все эти особенности диктуют необходимость автономного, автоматического проведения заключительного этапа сближения с поверхностью Фобоса и посадки. Для выполнения автономной посадки КА будут задействованы несколько приборов — телевизионные камеры для получения изображений предполагаемой зоны посадки с высоким пространственным разрешением и определяющие параметры перемещения КА относительно поверхности, высотомер-вертиконт, обеспечивающий измерение дальности до поверхности и определяющий направление нормали к ней, измерители относительной скорости КА. Ввиду малости силы тяготения на Фобосе (ускорение свободного падения на Фобосе  $\sim 0,7 \text{ см/с}^2$ , в 1400 раз меньше, чем у поверхности Земли) в момент контакта КА с поверхностью будут включены двигатели малой тяги, обеспечивающие прижим и устойчивость КА на поверхности.

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 грунтозаборный комплекс, использующий манипулятор для забора проб грунта и нескольких мелких камней ( $\sim 1 \text{ см}$ ). Образцы грунта укладываются в контейнер спускаемого аппарата, который герметически закрывается. Возвращаемый аппарат готов к старту с Фобоса. 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 сообщающие

возвращаемому аппарату относительную скорость порядка 1 м/с. После ухода возвращаемого аппарата на безопасное расстояние включаются его двигательная установка и возвращаемый аппарат выходит на орбиту вокруг Марса с высотой, несколько меньшей высоты орбиты Фобоса. Далее, откорректировав орбиту, удобную для старта к Земле, выполняются операции по переводу возвращаемого аппарата на межпланетную траекторию Марс – Земля. Этот перевод производится по трехимпульсной схеме, подобной той, которая использовалась для перевода КА с межпланетной траектории на эллиптическую орбиту Марса, но в обратной последовательности. Время перелета Марс – Земля составляет 10,5–11,5 мес. Траектория полета возвращаемого аппарата должна обеспечить прямой вход его в атмосферу и посадку в заданном районе на поверхности Земли. С этой целью при подлете аппарата будет выполнено несколько коррекций траектории. Перед входом в атмосферу Земли от возвращаемого аппарата будет отделен спускаемый аппарат, который опустится на поверхность Земли в заданном районе.

Доставкой образцов грунта с Фобоса на Землю экспедиция не заканчивается. Перелетно-орбитальный модуль, с которого стартовал возвращаемый аппарат, остался на поверхности Фобоса для продолжения выполнения научной программы экспедиции. На борту перелетно-орбитального модуля установлены научные приборы. Программа работы бортовых приборов включает исследования Фобоса и околомарсианского пространства на этапе орбитального движения космического аппарата вокруг Марса (до посадки на Фобос). Эти исследования направлены на уточнение фигуры Фобоса, его массы, плотности, внутреннего строения, гравитационного поля, магнитного поля, морфологии поверхности, т. е. характеристик Фобоса, как небесного тела. После посадки КА на поверхность Фобоса будут выполнены геохимические исследования реголита в районе посадки и зондирование внутренней структуры Фобоса. Исследования *in situ* в сочетании с наиболее сложной частью экспедиции — доставкой на Землю образцов грунта Фобоса необходимы для увеличения надежности выполнения всей экспедиции. Несколько приборов направлены на изучение свойств околомарсианского пространства — регистрация микрометеоритов, условий взаимодействия солнечного ветра с плазменным окружением Марса. Научная программа, выполняемая на борту космического аппарата «Фобос-Грунт», готовится в Институте космических исследований РАН с участием других российских научных организаций и в широкой международной кооперации.

Космический аппарат и комплекс научной аппаратуры для проекта «Фобос-Грунт» в настоящее время в стадии активной подготовки. Реализация этого проекта явится важным этапом в исследованиях происхождения и эволюции Солнечной системы, исследованиях системы Марса. Помимо решения чисто научных задач проекта, реализация этой экспедиции является важным звеном в подготовке к серии будущих экспедиций по доставке на Землю образцов вещества с Марса и пилотируемой экспедиции на Марс.

### 2.3.1.2. Проект РЕЗОНАНС

Научные задачи:

Космический проект РЕЗОНАНС направлен на исследование взаимодействия волна-частица и динамики плазмы во внутренней магнитосфере Земли и авроральной области. Основные задачи проекта следующие:

1. Длительные наблюдения естественных явлений в приэкваториальной области:

- динамика магнитосферных циклотронных мазеров;
- формирование кольцевого тока;
- заполнение плазмопаузы после геомагнитных возмущений.

2. Исследование авроральной области:

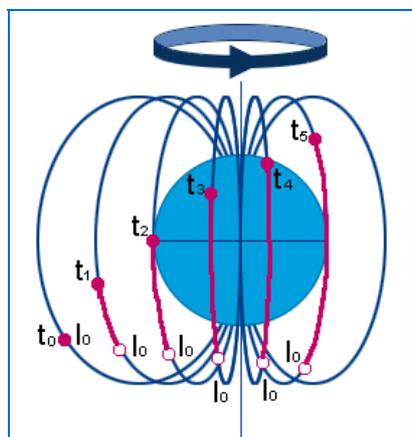
- генерация и распространение аврорального километрового излучения, структура и характеристики его источника;
- область ускорения – роль мелкомасштабных явлений в глобальной динамике плазмы.

3. Искусственное влияние на магнитосферный мазер:

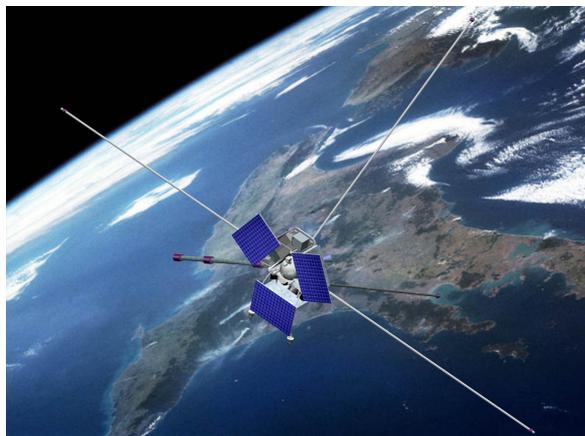
- искусственное возбуждение или усиление волновых мод;
- изменение потоков высыпающихся частиц;
- изменение добротности мазера путем изменения коэффициента отражения в ионосфере, в подножье выбранной силовой трубки.

*Орбиты и сценарий миссии.*

Две пары спутников будут запущены на магнито-синхронные орбиты. Такие орбиты позволяют проводить длительные измерения в выбранной силовой трубке — до сорока минут в трубке, опирающейся на ионосферу над нагревным стендом. При этом один спутник будет находиться в северном полушарии, а второй — в южном.



**Рис. 1.** Магнито-синхронная орбита. Спутник коротитрует вместе с силовой трубкой и движется вдоль нее



**Рис. 2.** Вид спутника проекта РЕЗОНАНС с раскрытыми штангами и солнечными панелями

Параметры выбранных орбит следующие: орбитальный период — 8 ч, высота апогея — 28 000 км, высота перигея — 500 км, наклонение орбит —  $\pm 63,4^\circ$ . Расстояние между спутниками одной пары может меняться от 1 до нескольких тысяч километров при помощи бортового двигателя. На первом этапе исследований это расстояние будет минимальным для изучения мелкомасштабных явлений в области источника. На втором этапе расстояние будет увеличено до нескольких тысяч километров таким образом, чтобы один спутник находился внутри области ускорения, а второй — вне ее, для изучения процессов ускорения частиц.

#### *Спутник и научные эксперименты*

Научные эксперименты для измерения постоянных и переменных электромагнитных полей, тепловой плазмы и энергичных частиц будут установлены на платформе «Карат», разработанной НПО им. Лавочкина. Масса научной аппаратуры – 60 кг, масса спутника с рабочим телом – 230 кг.

#### **2.3.1.3. Нейтронный телескоп ЛЕНД для лунного аппарата НАСА «Лунный разведывательный орбитер»**

Основной целью российского эксперимента ЛЕНД (Lunar Exploration Neutron Detector) на борту космического аппарата НАСА «Лунный разведывательный орбитер» является картографирование содержания водорода и поиск водных ресурсов на Луне, а также измерение радиационного фона для подготовки пилотируемых экспедиций. Нейтронный телескоп ЛЕНД обеспечит измерение потока нейтронов от поверхности Луны с высоким пространственным разрешением 5–20 км на основе использования метода коллимации нейтронов для формирования узкого поля зрения прибора (рис. 5).



**Рис. 5.** Российский нейтронный телескоп ЛЕНД для лунного аппарата НАСА «Лунный разведывательный орбитер»

В ходе исследований с использованием аппаратуры ЛЕНД будут решены следующие научные задачи:

- измерение радиационной обстановки на орбите вокруг Луны, включая вклад потока нейтронов с энергиями выше 10 МэВ;
- создание карты распределения водорода на поверхности Луны с чувствительностью 0,01% по массе и с горизонтальным разрешением 5–20 км;
- поиск водяного льда в холодных ловушках на дне лунных полярных кратеров и оценка массы ледяных отложений.

Аппаратура ЛЕНД разрабатывается в Институте космических исследований РАН по заказу Федерального космического агентства (руководитель эксперимента д-р физ.-мат. наук И.Г. Митрофанов). Запуск прибора ЛЕНД на борту аппарата НАСА «Лунный разведывательный орбитер» намечен на октябрь 2008 г.

#### ***2.3.1.4. Активный нейтронный детектор ДАН для марсохода НАСА «Марсианская научная лаборатория»***

Основной целью российского эксперимента ДАН (Dynamic Albedo of Neutrons) на борту марсохода НАСА «Марсианская научная лаборатория» является измерение содержания воды или водяного льда в грунте Марса на глубину 0,5–1 м и с поверхностным разрешением 1 м вдоль трассы движения марсохода. Основным методом исследований состоит в облучении поверхности Марса импульсами нейтронов высоких энергий с одновременным измерением спектрально-временных характеристик выходящего с поверхности вторичного нейтронного излучения (метод нейтрон-нейтронного активационного анализа). Для достижения цели исследований аппаратура ДАН должна обеспечить решение следующих научных задач:

- проведение нейтрон-нейтронного активационного анализа поверхности Марса для оценки содержания воды в грунте вдоль трассы движения марсохода;
- проведение пассивного мониторинга естественного нейтронного излучения поверхности Марса на всем пути следования марсохода.

Аппаратура ДАН разрабатывается в Институте космических исследований РАН по заказу Федерального космического агентства (руководитель эксперимента д-р физ.-мат. наук И.Г. Митрофанов). Запуск прибора ДАН на борту аппарата НАСА «Марсианская научная лаборатория» намечен на 2009 г.

#### ***2.3.1.5. Эксперименты для межпланетного аппарата ЕКА «Бени Колумбо» Нейтронный и гамма-спектрометр МГНС***

Основной целью российского эксперимента МГНС (Mercury Gamma and Neutron Spectrometer) является определение элементного состава

приповерхностных слоев грунта Меркурия и экспериментальная проверка гипотезы о наличии отложений водяного льда в окрестности полюсов. Для достижения поставленных целей аппаратура МГНС должна обеспечить решение следующих научных задач:

- проведение глобального картографирования нейтронного излучения Меркурия в широком диапазоне энергий от тепловых нейтронов до нейтронов с энергиями до 15 МэВ для определения распространенности водорода на поверхности планеты и для проверки гипотезы о наличии ледяных отложений на полюсах;
- проведение глобального картографирования поверхности Меркурия в диапазоне наиболее интенсивных характерных гамма линий ядер химических элементов с энергетическим разрешением не менее 3% для определения распространенности основных породообразующих и естественных радиоактивных элементов.

Научная аппаратура МГНС разрабатывается в Институте космических исследований РАН по заказу Федерального космического агентства (руководитель эксперимента д-р физ.-мат. наук И.Г. Митрофанов). Запуск прибора МГНС на борту межпланетного аппарата ЕКА «Бепи Колombo» намечен на 2012–2014 гг.

### **Эксперименты PHEBUS, MSASI и PICAM**

Хотя Меркурий не имеет устойчивой атмосферы, он окружен крайне разреженной газообразной средой, называемой экзосферой, нейтральные атомы которой не испытывают столкновений. Атомы, составляющие экзосферу, выбиты с поверхности планеты высокоэнергичными солнечными фотонами и ионами, а также падающими метеоритами. Исследование экзосферы, таким образом, позволяет оценить химический состав поверхности планеты. Пять элементов экзосферы Меркурия: кислород, водород, неон, натрий и калий, были обнаружены во время пролетов Маринера-10 и наземными наблюдениями. Также, Меркурий захватывает своим тяготением гелий солнечного ветра. Эксперименты PHEBUS, MSASI и PICAM предназначены для исследования экзосферы планеты.

Совместный УФ-спектрометр PHEBUS (Франция, Япония, Россия) на спутнике МРО проекта «Бепи Колombo» предназначен для дистанционного исследования экзосферы Меркурия в УФ-диапазоне спектра (55–422 нм). Основные научные задачи PHEBUS относятся к экзосфере Меркурия, ее составу, вертикальной структуре и динамике: перенос с дневной стороны на ночную, перенос от активных участков поверхности, процессы дегазации поверхности, поиск ионосферы и ее взаимодействие с нейтральной атмосферой, обмен экзосферы и магнитосферы, диссипация атмосферы, баланс источников и стоков, геохимические циклы. Также, эти измерения могут обнаружить ионы, благородные газы, провести поиск особенностей спектра поверхности, включая лед и исследования водорода и гелия в межпланетном пространстве в близости от Солнца. Российский вклад в

эксперимент составляет входная оптика, включая сканирующую систему, позволяющую поворачивать поле зрения прибора на  $360^\circ$ .

Совместный прибор MSASI (Япония и Россия) на спутнике ММО предназначен для картирования натриевой экзосферы Меркурия в видимом диапазоне спектра (линия D2 589 нм) с вертикальным разрешением лучше 40 км, в том числе на фоне освещенного диска Меркурия, что позволит исследовать динамику экзосферы и различить различные модели дегазации: внутренние процессы, такие как диффузия, испарение летучих элементов, вулканическая активность, и внешние процессы, включая десорбцию под действием солнечного излучения, выбивание ионами солнечного ветра, удары метеоритов и т. д. Российский вклад в эксперимент составляет сканирующая система, позволяющая строить изображение.

Австрийский прибор PICAM с участием России на спутнике МРО предназначен для контактных измерений заряженных частиц экзосферы Меркурия. Прибор PICAM является частью комплекса SERENA. PICAM основан на новой концепции камеры полного неба с мгновенным полем зрения  $2\pi$  и возможностью исследования трехмерного распределения скорости и массового состава заряженных частиц. Российский вклад в эксперимент состоит в комплексе оптики прибора.

### **Эксперимент РУСАЛКА — (РУчной Спектральный АнаЛизатор Компонентов Атмосферы) на РС МКС**

Для понимания роли природных процессов и человеческой деятельности, регулирующих распределение атмосферной углекислоты, необходимы точные и локализованные измерения концентрации  $\text{CO}_2$ . Основное количество этого газа содержится в приземном слое, там же располагаются его источники и стоки. Поэтому, говоря о дистанционных измерениях, особенно важно иметь возможность точного измерения полного содержания  $\text{CO}_2$  в атмосферном столбе. Измерения концентрации  $\text{CO}_2$ , выполняемые с околоземной орбиты, позволили бы вывести понимание глобального кругооборота углерода на качественно новый уровень, но имеющиеся данные не обеспечивают пока необходимой точности. Спектроскопические наблюдения в ближнем ИК-диапазоне позволяют проводить точные измерения полного содержания  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в атмосфере при выполнении двух условий: высокое спектральное разрешение, позволяющее различить отдельные ненасыщенные спектральные линии в слабых полосах  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , и хорошее знание атмосферной массы.

Для отработки такой методики на МКС предназначен эксперимент РУСАЛКА. Эксперимент предусматривает измерения концентрации углекислого газа и метана в земной атмосфере путем регистрации спектров поглощения солнечного излучения, рассеянного или отраженного (солнечный блик на поверхности воды) космонавтами при помощи спектрометра ближнего ИК-диапазона высокого разрешения. В основе аппаратуры эксперимента лежит малогабаритный эшелле-спектрометр высокого разрешения, для выбора порядков дифракции которого



используется акустооптический фильтр. Разрешающая сила прибора составляет не менее 20 000. Прибор работает в диапазоне длин волн 1,58; 1,6; 1,65 мкм в полосах поглощения  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Для измерения воздушной массы используется молекулярный кислород  $\text{O}_2$ , измеряемый в полосах 0,76 и 1,27 мкм. Для регистрации атмосферных аэрозолей (облака, дымки, туманы, выбросы промышленных предприятий) используется стандартная фотокамера.

Прибор может работать в ручном и автоматическом режимах. Ожидаемая точность измерения  $\text{CO}_2$  не хуже 0.3%. Прибор РУСАЛКА прошел испытания и готовится для проведения эксперимента на МКС в ходе 18 экспедиции (2008–2009). После отработки методики измерений на МКС компактная аппаратура типа РУСАЛКА может быть использована для мониторинга парниковых газов на различных автоматических платформах, включая микроспутники.

## 2.3.2. ИНСТИТУТ ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМА, ИОНОСФЕРЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ИМЕНИ Н.В. ПУШКОВА РАН

### 2.3.2.1. Проект КОРОНАС-ФОТОН: солнечная и солнечно-земная физика

#### Гелиосейсмологический мониторинг Солнца в эксперименте СОКОЛ/КОРОНАС-ФОТОН

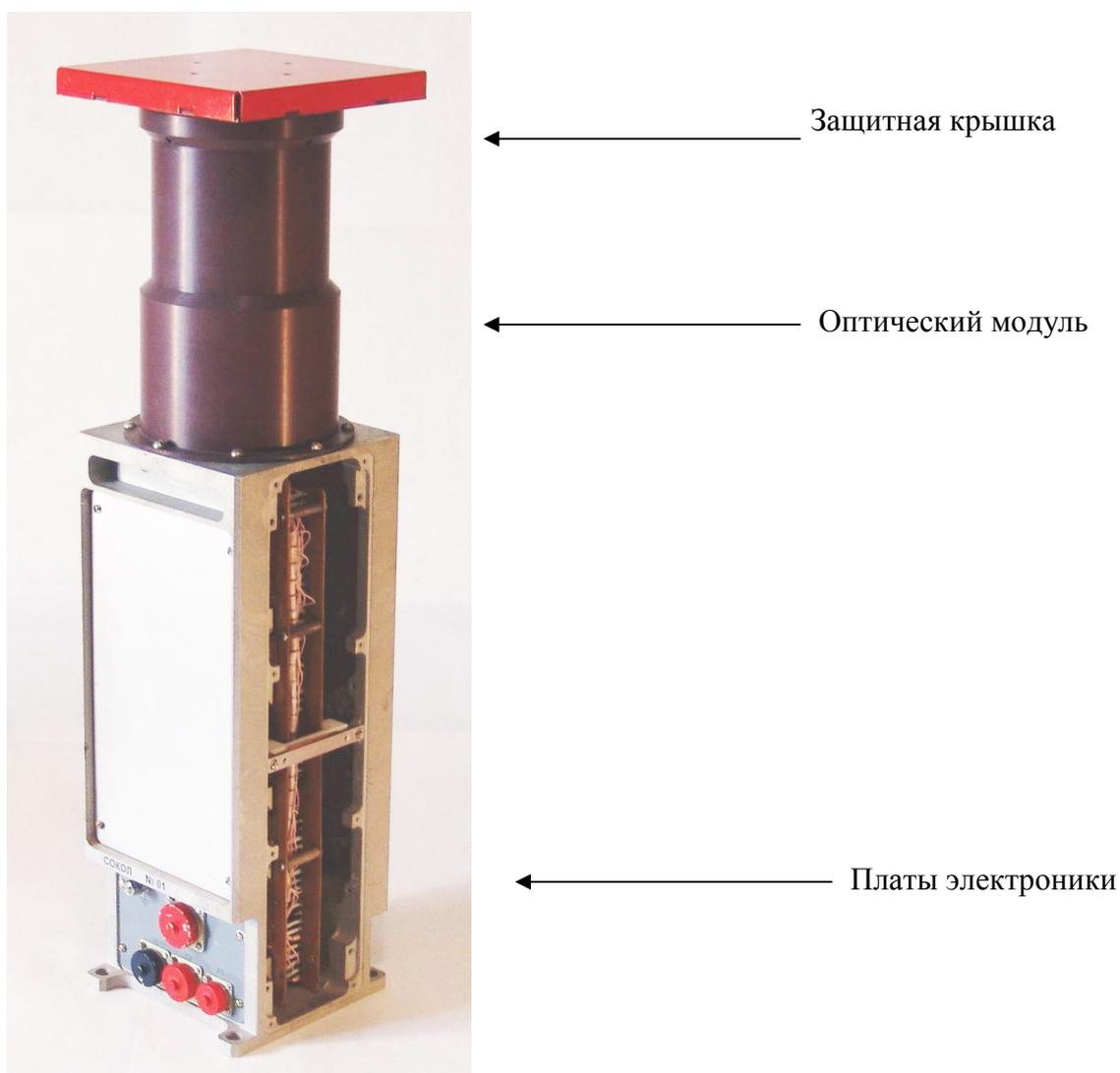
На спутнике КОРОНАС-ФОТОН, который готовится к запуску в 2008 г., будут продолжены гелиосейсмологические исследования с помощью многоканального фотометра СОКОЛ (СОлнечные КОЛебания). Прибор разработан в ИЗМИРАН (рис. 1). Он будет проводить непрерывные и высокостабильные наблюдения вариаций интенсивности солнечного излучения с целью изучения собственных колебаний Солнца. Предлагаемый прибор является дальнейшим развитием фотометров ДИФОС, которые выполняли аналогичные наблюдения на спутниках КОРОНАС-И (1994–2001) и КОРОНАС-Ф (2001–2005). По методу наблюдений и по своим техническим характеристикам он наиболее близко соответствует солнечным фотометрам SPM проекта SOHO. Фотометр СОКОЛ будет охватывать широкий спектральный диапазон наблюдения, простирающийся от ближнего ультрафиолета до инфракрасного (280–1500 нм) (табл. 1). Фотометр будет наблюдать Солнце как звезду, что позволит регистрировать солнечные колебания низких степеней ( $l < 3$ ). В приведенных ниже табл. 2 и 3 дано сравнение основных характеристик гелиосейсмологических приборов СОКОЛ/КОРОНАС-ФОТОН, ДИФОС/КОРОНАС-Ф и SOHO, а также приведено взаимное расположение их спектральных диапазонов.

Основные технические характеристики многоканального фотометра СОКОЛ:

- фотометр предназначен для измерения флуктуаций интенсивности оптического излучения Солнца с целью получения спектра собственных колебаний;
- измерения интенсивности планируется проводить одновременно в семи оптических спектральных каналах: 280, 350, 500, 650, 850, 1100 и 1500 нм с шириной полосы 10 % от значения центральной частоты (см. табл. 1);
- относительная разрешающая способность по интенсивности составляет  $10^{-6}$  от полной интенсивности излучения Солнца на временном интервале 30 с;
- временная дискретность отсчетов интенсивности — 1 с;
- пространственное разрешение отсутствует;
- поле зрения фотометра —  $2^\circ$ ;
- разрешающая способность датчика ориентации фотометра — 5 угл.с.

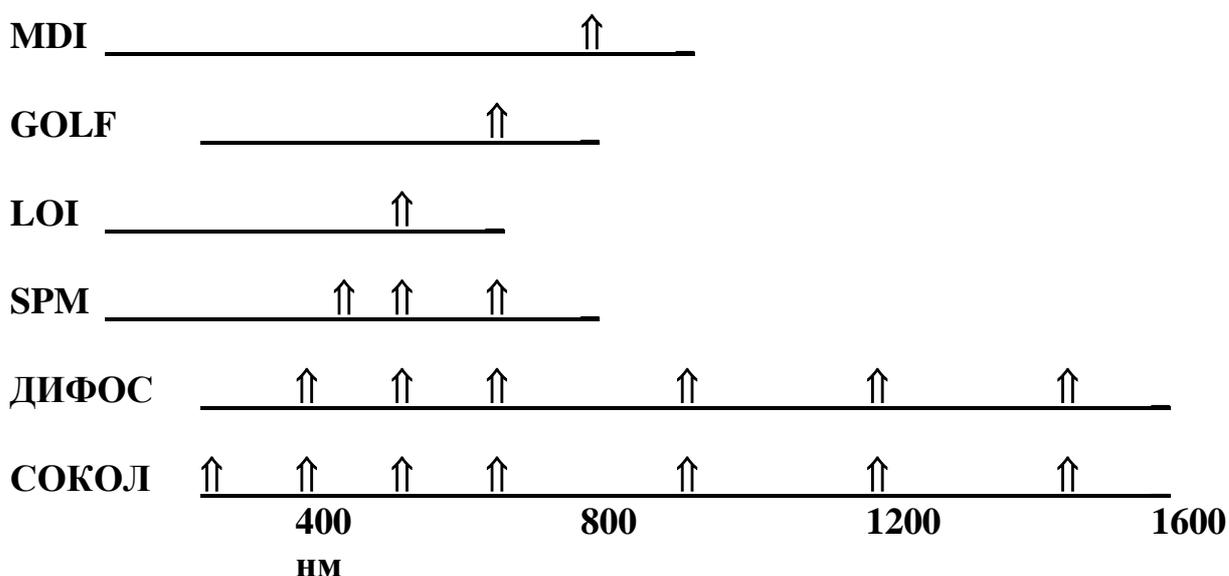
**Таблица 1.** Спектральные диапазоны фотометра СОКОЛ и их ширина

Номер диапазона	Центральная длина волны спектрального диапазона, нм	Ширина спектрального диапазона, нм
1	280	30
2	350	35
3	500	50
4	650	65
5	850	85
6	1100	110
7	1500	150

**Рис. 1.** Многоканальный фотометр СОКОЛ/КОРОНАС-ФОТОН

**Таблица 2.** Сравнение характеристик гелиосейсмологических приборов СОКОЛ–ДИФОС–СОНО

Проект	Прибор	Метод	Спектральный диапазон наблюдений, нм	Пространственное разрешение
СОНО	MDI	Фурье-тахометр, колебания скорости	676,8	ПЗС-матрица 1024×1024 пикс, $l = 0-4500$
	GOLF	Резонансная ячейка на парах натрия, колебания скорости	589,0	Отсутствует, $l = 0-3$
	LOI (VIRGO)	Колебания интенсивности излучения	500	12 элементный фотодиод, $l = 0-7$
	SPM (VIRGO)	Колебания интенсивности излучения	402 500 862	Отсутствует, $l = 0-3$
КОРОНАС-Ф	ДИФОС	Колебания интенсивности излучения	350 500 650 850 1100 1500	Отсутствует, $l = 0-3$
КОРОНАС-ФОТОН	СОКОЛ	Колебания интенсивности излучения	280 350 500 650 850 1100 1500	Отсутствует, $l = 0-3$

**Таблица 3.** Взаимное расположение спектральных диапазонов

## 2.3.3. ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН

### 2.3.3.1. Эксперимент ТЕСИС по спектроскопии Солнца в ВУФ-диапазоне

Эксперимент ТЕСИС (рис. 1) по изображающей спектроскопии Солнца должен начаться в середине 2008 г. на борту российского спутника «Коронас-Фотон». Организацией, ответственной за разработку научной аппаратуры ТЕСИС и проведение эксперимента, является Лаборатория рентгеновской астрономии Солнца ФИАН им. П.Н. Лебедева (<http://tesis.lebedev.ru>).



**Рис. 1.** Спутник «Коронас-Фотон» с телескопами ТЕСИС

Эксперимент направлен на получение информации о физических параметрах и пространственной структуре плазмы переходного слоя и внутренней и внешней короны с целью решения следующих проблем физики Солнца: (1) исследование механизма генерации солнечного ветра и нагрева короны, (2) разработка методов предсказания космической погоды, (3) изучение формирования и динамики высокотемпературной корональной плазмы, (4) изучение механизмов накопления и высвобождения магнитной энергии во время солнечных вспышек.

Пространственные, спектральные и временные характеристики ТЕСИС значительно улучшены по сравнению с его предшественником, СПИРИТ, который работал на орбите с 31 июля 2001 года по 5 декабря 2005 г. В значительной степени это стало возможным за счет значительного прогресса в производстве высокоразрешающей рентгеновской оптики, основанной на многослойных зеркалах нормального падения.

Научная аппаратура ТЕСИС включает 5 инструментов.

(1) Инструмент MISH — изображающий спектрогелиометр для регистрации монохроматических изображений Солнца в линии водородоподобного иона MgXII 8,42 А. Наблюдения в линии MgXII предоставляют информацию о температуре, пространственном распределении и динамике высокотемпературной плазмы солнечных вспышек и активных областей. Спектрогелиометр предназначен для наблюдений Солнца с высоким временным разрешением (лучше 10 с в режиме экспонирования полного диска Солнца).

(2) Инструмент EUSH — изображающий спектрогелиометр, работающий в диапазоне 285-335 А. В эту область попадают линии ионов HeII, SiIX, SiXI, FeXIV-FeXVI, MgVIII, NiXVIII, CaXVII, AlIX, FeXXII и другие спектральные линии, формирующиеся при температуре от  $5 \times 10^4$  до  $1,2 \times 10^7$  К. Оптическая схема EUSH основана на дифракционной решетке наклонного падения и многослойном параболическом зеркале нормального падения. Спектрогелиометр EUSH предназначен в основном для спектральной диагностики корональной плазмы.

(3) Инструмент FET – два телескопа системы Гершеля нормального падения с многослойными зеркалами. Первый телескоп работает в спектральной области 130–136 А, где находятся сильные линии железа FeXX 132,84 А и FeXXIII 132,91 А. Второй телескоп регистрирует излучение в диапазоне 290-320 А, центрированном вблизи спектральной линии HeII 303,8 А. Изображения, получаемые первым телескопом, предоставляют данные о динамике и пространственном распределении очень горячей корональной плазмы с температурой выше  $10^7$  К. Интенсивное излучение в линии HeII 303,8 А производится в основном в переходном слое с температурой выше  $10^5$  К. Телескопы могут работать одновременно или последовательно в зависимости от программы наблюдений.

(4) Инструмент SEC — солнечный коронограф, основанный на схеме Ричи-Кретьена. Коронограф SEC работает в диапазоне длин волн 290–320 А с сильными линиями кремния SiXI 303,3 А и гелия HeII 303,8 А. Поле зрения инструмента  $2,5^\circ$ , что позволяет наблюдать внутреннюю и внешнюю корону от высоты 0,7 до 4 солнечных радиусов. Интенсивное излучение солнечного диска в коронографе подавляется искусственной луной, напыленной непосредственно на поверхность ПЗС-матрицы.

(5) В дополнение к перечисленным выше инструментам, ТЕСИС включает в себя фотометр-спектрометр SphinX, разработанный в Центре космических исследований Польской Академии наук.

Полный объем полезной научной информации, которую будет получать ТЕСИС, составляет около 2 Гбайт в день, что более чем на порядок превышает информативность предыдущего эксперимента, СПИРИТ. Можно ожидать, что ТЕСИС сможет предоставлять около 1000 изображений полного диска Солнца каждый день. Размер одного несжатого изображения будет  $2048 \times 2048$  пикселей с пространственным разрешением лучше 2 угл.с для большинства каналов. Около 10 % ежедневных изображений ТЕСИС

будет открыто для использования и скачивания через центр доступа к данным ТЕСИС, который будет открыт по адресу <http://www.tesis.lebedev.ru>.

ТЕСИС станет важной частью международной программы совместных исследований Солнца наземными и космическими обсерваториями во время фазы роста и максимума текущего солнечного цикла. Солнечные вспышки имеют множество аспектов, которые могут быть полностью прояснены только совместными наблюдениями в оптическом, радио и рентгеновском диапазонах. ТЕСИС должен сделать существенный вклад в эту кооперацию, увеличив наши знания о Солнце и механизмах солнечной активности.

## АСТРОКОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ФИАН

### 2.3.3.3. Космическая обсерватория «РАДИОАСТРОН» (проект «СПЕКТРР»)



Данный проект представляет собой наземно-космический интерферометр, предназначенный для исследования структуры различных объектов Вселенной в сантиметровом и дециметровом диапазонах длин волн с угловым разрешением в несколько миллионных долей угловой секунды (т.е. в миллион раз лучше углового разрешения человеческого глаза). Такое угловое разрешение достигается для радиоинтерферометра, состоящего из космической антенны диаметром 10 метров, запускаемой на околоземную орбиту с апогеем 350 000 км и крупнейших наземных радиотелескопов. Сверхвысокое угловое разрешение является ключевым параметром данного проекта. Поскольку наибольшее значение базовой линии наземно-космического интерферометра близко к расстоянию от Земли до Луны, то с его помощью появляется возможность определения угловых размеров источников космического радиоизлучения, их структуры, собственных движений и расстояний, а также получения их спектральных и поляризационных изображений в десятки раз лучших по качеству, чем это возможно в настоящее время для любых существующих наземных радиоинтерферометров.

Орбита проекта «Радиоастрон», гравитационно возмущаемая Луной, имеет следующие параметры:

Радиус перигея:	>10000 км
Начальное наклонение:	51,6°
Средний радиус апогея:	350 000 км
Средний период вращения:	9,5 дней

Запуск мисси планируется в первой половине 2009 г.

## 2.3.4. ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ ИМ. В.А. КОТЕЛЬНИКОВА РАН

### 2.3.4.1. Радиометрическая система L-диапазона для космических исследований

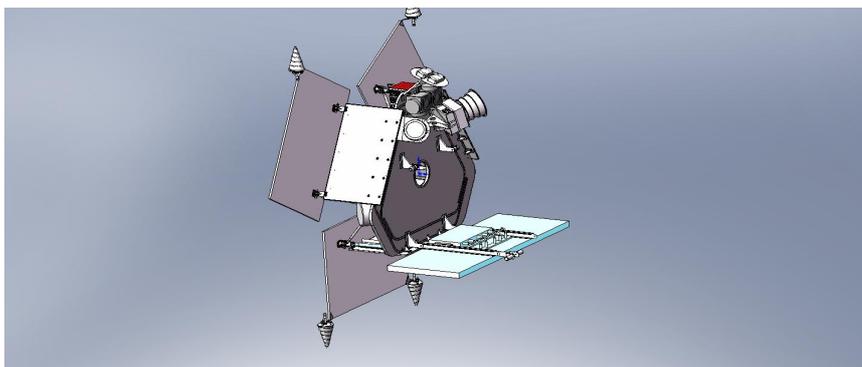
С целью развития и совершенствования методов наблюдения Земли из космоса СВЧ радиометрическими средствами в дециметровом диапазоне разрабатывается новый научный прибор — панорамный СВЧ-радиометр «Зонд-ПП» для установки его на малый космический аппарат «МКА-ПН1» разработки ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» (планируемый запуск — 2008 г.). Головная научная организация — Институт радиотехники и электроники РАН (ИРЭ РАН), разработчик и поставщик научного прибора - ФГУП СКБ ИРЭ РАН. Использование радиометра L-диапазона для космических исследований направлено на решение 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, влияния внешних факторов (галактический фон, ионосфера и др.) на измеряемые характеристики объектов, изучения помеховой обстановки, а также для развития методов совместной обработки данных с разным пространственным разрешением.

Панорамные измерения разрабатываемым прибором обеспечиваются путем одновременного измерения СВЧ-излучения с разных участков земной поверхности с помощью 2-лучевой антенны и 2-канального радиометрического приемника.

#### *Технические характеристики радиометрического комплекса*

Количество лучей	2
Поляризация	линейная
Средняя частота, МГц	1410
Ширина полосы приема, МГц	20
Флуктуационная чувствительность, К	<0,3
Диапазон измеряемых сигналов, К	10–320
Напряжение питания, В	+28
Потребляемая мощность, ВА	<60
Масса, кг	<10
Габариты, мм	
блок СВЧ	400×300×50
антенна	800×510×40

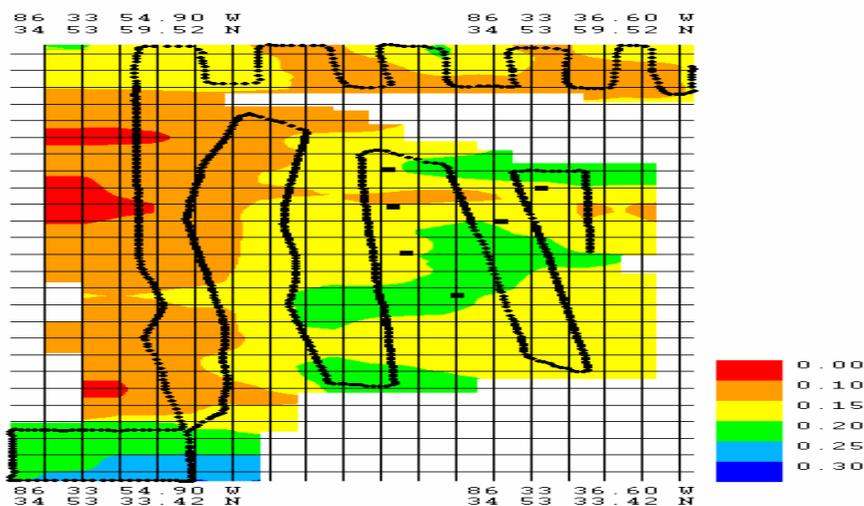
Полетная конфигурация космического аппарата «МКА-ПН1» и радиометрического комплекса «Зонд-ПП» представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Полетная конфигурация космического аппарата «МКА-ПН1» и радиометрического комплекса «Зонд-ПП».

С помощью нового научного прибора «Зонд-ПП» будут получены данные для решения целого ряда научных и практических задач:

1. картирование влажности почв (в т. ч. под лесным пологом) по территориям регионального и глобального масштабов;
2. исследование температурно-влажностного состояния лесоболотных систем;
3. изучение биометрических характеристик растительности;
4. изучение солености водных акваторий;
5. исследование гляциальных и мерзлотных зон;
6. изучение энергообмена системы океан-суша-атмосфера (совместно с данными других датчиков);
7. исследование геотермальной деятельности, оценка границы зон и температурного режима;
8. изучение помеховой обстановки;
9. развитие методов калибровки данных;
10. развитие методов совместной обработки данных с разным пространственным разрешением.



**Рис. 2.** Результаты самолетного картографирования влажности почвы (влажность выражена в  $\text{г}/\text{см}^3$ )

Результаты космических экспериментов позволят оценить эффективность СВЧ-радиометрии L-диапазона для определения влажности почв и биомассы растительности, солености морей. Ожидаемое число градаций в диапазоне изменений характерных величин влажности почв на больших территориях — до 5 градаций (в качестве примера ожидаемых результатов космических экспериментов на рис. 2 приведены результаты самолетного картографирования влажности почвы на длине волны 21 см), биомассы растительности — до 3, солености акваторий — 2-3 градации.

## 2.3.5. ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ ИМЕНИ В.И. ВЕРНАДСКОГО РАН

### 2.3.5.1. Проект «ФОБОС-ГРУНТ»

#### 1. Научные задачи

В 2009 г. в соответствии с Федеральной космической программой России будет осуществлен запуск космического аппарата «Фобос-Грунт».

В табл. 1 приведены главные научные задачи, которые могут быть решены только при доставке на Землю образцов грунта Фобоса, и лишь частично — без доставки грунта.

Таблица 1. Задачи, которые надо решить

	Родственно ли вещество Фобоса веществу Марса и SNC метеоритов? $O^{16} - O^{17} - O^{18}$ , Kr/Ar/Ne соотношение (рис. 1, рис. 2)	
	Имеются ли на Фобосе частицы, выброшенные с поверхности Марса? Поиск и анализ такого материала	
	Есть ли на Фобосе следы протосолнечного вещества? <i>Изотопные аномалии</i>	
	Имеется ли на Фобосе органическое вещество и какова его природа? Присутствие аминокислот, нуклеиновых оснований и др.	
	Сложен ли Фобос первичным или прошедшим дифференциацию материалом? REE соотношение. Минералогия.	
	Возраст Фобоса 1. Sm/Nd, 2. Hf/W, 3. U/Pb /Rb/Sr	
	К какому типу метеоритов близко по составу вещество Фобоса? $\delta^{13}C$ , $\delta D$ , $\delta^{18}O - \delta^{17}O - \delta^{16}O$ , $H_2O$ (рис.1, рис.2)	
	Внутренняя структура Фобоса Сейсмозондирование	 Доставка грунта необходима
	Морфология поверхностного слоя Фобоса Видеоизображение, доставленные образцы грунта	 Задача выполнима без доставки грунта

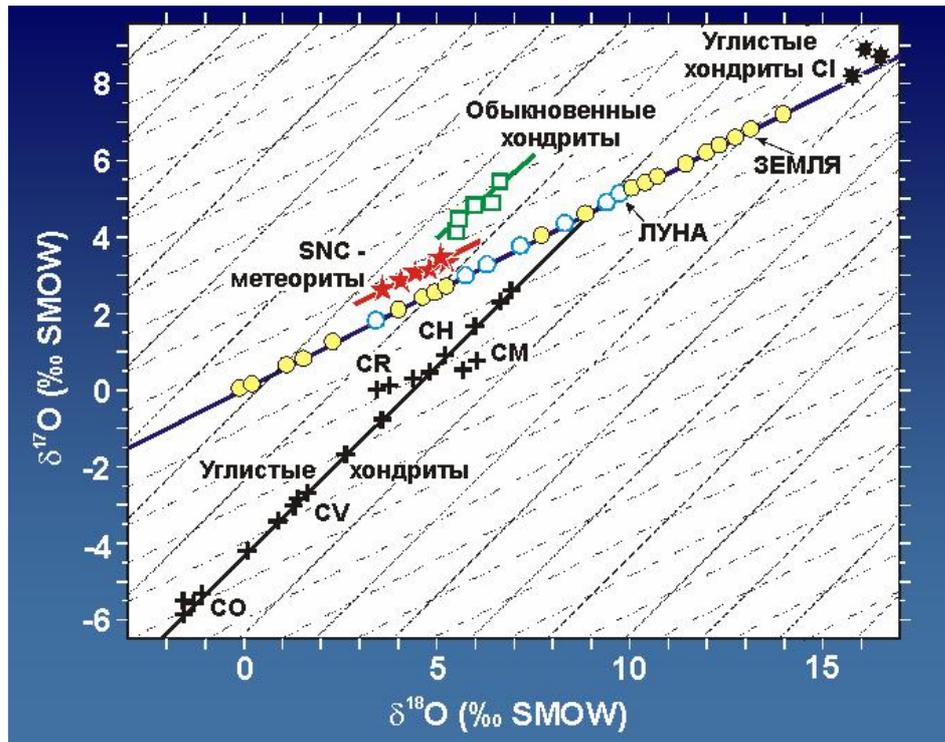


Рис. 1

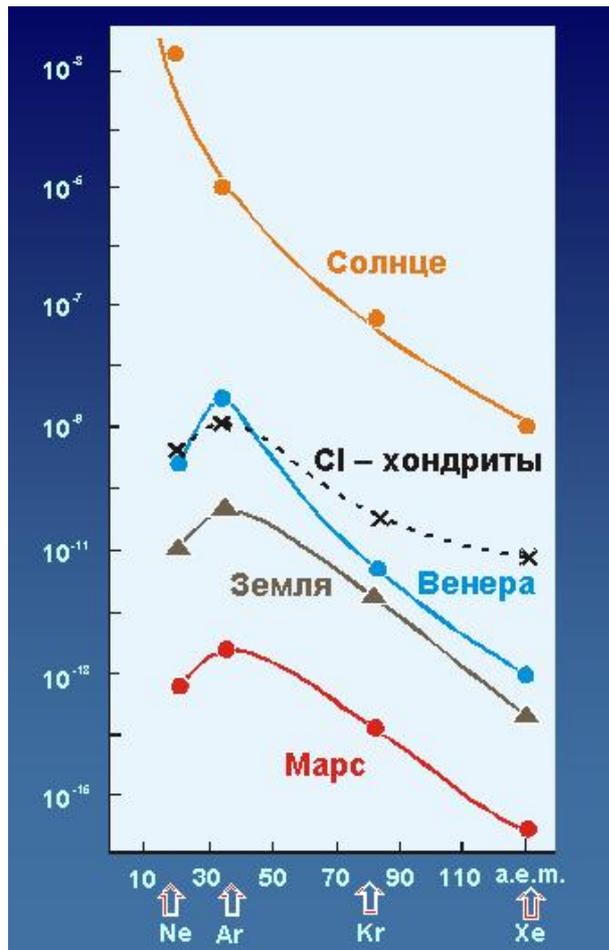


Рис. 2

## 2. Научные приборы и их технические характеристики

Для аттестации места посадки на Фобосе космического аппарата «Фобос-Грунт» в ГЕОХИ РАН разрабатывается и изготавливается комплекс научной аппаратуры:

- **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 1–2 м.
- **Нейтронный детектор** конструктивно входит в состав гамма-спектрометра ФОГС и предназначен для определения концентраций водородосодержащих веществ в поверхностном слое грунта Фобоса.
- **Детектор космической пыли МЕТЕОР-Ф** предназначен для определения плотности метеорного потока вблизи Марса, получения данных о физико-динамических параметрах метеорных частиц, принадлежащих пылевой оболочке Марса, для оценки метеорной опасности полетов космических аппаратов.
- **Масс-спектрометр МАЛ-1** предназначен для исследования состава газообразной компоненты породы.
- **Термодетектор ТЕРМОФОБ** предназначен для теплофизических измерений в приповерхностном слое грунта Фобоса (работы ведутся совместно с Институтом прикладной математики РАН).
- **Сейсмометр СЕЙСМО-1** предназначен для получения сейсмических данных (сейсмограмм) и записи уровня сейсмического шума для решения фундаментальных и прикладных задач: происхождение и внутреннее строение Фобоса, газопылевые потоки окрестности Марса, структура и плотность реголита, его механические характеристики (работы ведутся совместно с Институтом физики Земли РАН).

В табл. 2 приведены основные технические характеристики указанных научных приборов.

Таблица 2. Технические характеристики научных приборов

<b>Гамма-спектрометр ФОГС</b>	Масса прибора	5,4 кг
	Что измеряется	Энергия гамма-квантов, поток тепловых нейтронов
	Диапазон измерений	Гамма-кванты: от 0,3 до 9,0 МэВ, Нейтроны до 0,4 эВ
	Точность измерений	1–2 вес.% для основных породообразующих элементов
<b>Масс-спектрометр МАЛ-1</b>	Масса прибора	3,6 кг
	Что измеряется	Масса ионов газовой компоненты, выделенной из грунта Фобоса
	Диапазон измерений	От 1 до 400 а.е.м.
	Точность измерений	Лучше 1 а.е.м.

<b>Термодетектор ТЕРМОФОБ</b>	Масса прибора	0,3 кг
	Что измеряется	Температура грунта
	Диапазон измерений	100–380 К
	Точность измерений	0,25°
<b>Сейсмометр СЕЙСМО-1</b>	Масса прибора	0,75 кг
	Что измеряется	Ускорение, скорость, смещение
	Диапазон измерений	Не менее 100 дБ, $10^{-7} \dots 10^{-12}$ м
	Точность измерений	10%
<b>Детектор космической пыли МЕТЕОР-Ф</b>	Масса прибора	3,5 кг
	Что измеряется	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

В рамках ОКР ФОБОС-ГРУНТ разработан и выпущен комплект научно-технической документации, в том числе Эскизный проект, Техническое задание на комплекс научной аппаратуры, габаритные чертежи, схемы электрических соединений и др. Изготовлены натурно-массовые макеты, тепловые эквиваленты и технологические образцы приборов.

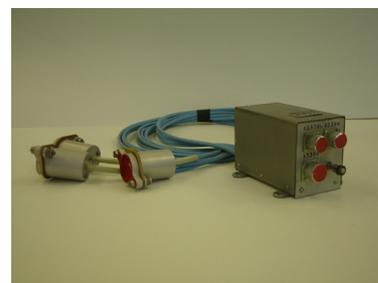
На рис. 3–7 приведены фотографии приборов.



**Рис. 3.** Гамма-спектрометр  
ФОГС



**Рис. 4.** Масс-спектрометр  
МАЛ-1



**Рис. 5.** Термодетектор  
ТЕРМОФОБ



**Рис. 6.** Сейсмометр СЕЙСМО-1



**Рис. 7.** Детектор космической пыли  
МЕТЕОР-Ф

### **3. Планируемые результаты исследований и экспериментов**

Основной целью проекта «Фобос-Грунт» является забор и доставка на Землю образцов грунта Фобоса. Изучение образцов грунта позволит пролить свет на процесс планетообразования. Это важно знать прежде всего для понимания ранней истории Земли, в том числе условий возникновения жизни, позволит выяснить структуру и состав вещества, из которого формировались планеты. Если Марс, Земля, Луна переплавлены, дифференцированы и изменены вторичными процессами, то Фобос, является уникальным объектом для понимания механизма планетообразования.

#### **2.3.5.2. Проект «ЛУНА-ГЛОБ»**

В соответствии с Федеральной космической программой России на 2006–2015 гг. реализуется проект «ЛУНА-ГЛОБ». Намечаемая дата запуска — 2012 г.

Основные научные задачи проекта:

1. Исследование внутреннего строения Луны.
2. Исследование кратера Южного полюса Луны.

#### **1. Исследование внутреннего строения Луны**

Исследование Луны и ее внутреннего строения дает ключ к пониманию ранней истории и эволюции планет земной группы, спутников других планет и, главное, к решению проблемы происхождения системы Земля-Луна. В настоящее время существует три основные гипотезы: гипотеза аккумуляции Луны из планетезималей, гипотеза мегаимпакта, гипотеза формирования двойной системы. На рис. 8 схематично представлены данные гипотезы. Размер ядра Луны является геохимическим параметром выбора наиболее вероятного сценария зарождения и формирования Луны. Гипотеза мегаимпакта и аккреции луны из планетезималей совместимы с малым размером ядра (менее 1 % массы Луны). Формирование Луны как двойной системы из коллапсирующего облака требует значительного ядра (около 5 %).

Все гипотезы о происхождении вещества Луны должны удовлетворять известным геохимическим критериям, выявленным в результате исследования образцов лунного грунта: дефицит железа, обедненность летучими элементами, специфический характер сидерофильных элементов, обогащенность рефракторными элементами. Обогащенность Луны рефракторными элементами означает прохождение Луной высокотемпературной стадии в процессе ее образования (модель коллапса).

В настоящее время нет реальных оценок концентрации тугоплавких элементов в Луне, однако эластичные свойства мантии зависят от ее химического и минерального состава, в частности, от содержания  $Al_2O_3$ . Существует корреляция между содержанием тугоплавких элементов и размером лунного ядра. Низкие концентрации тугоплавких элементов в Луне (аналогично Земле) означает наличие малого ядра или отсутствие его вообще.

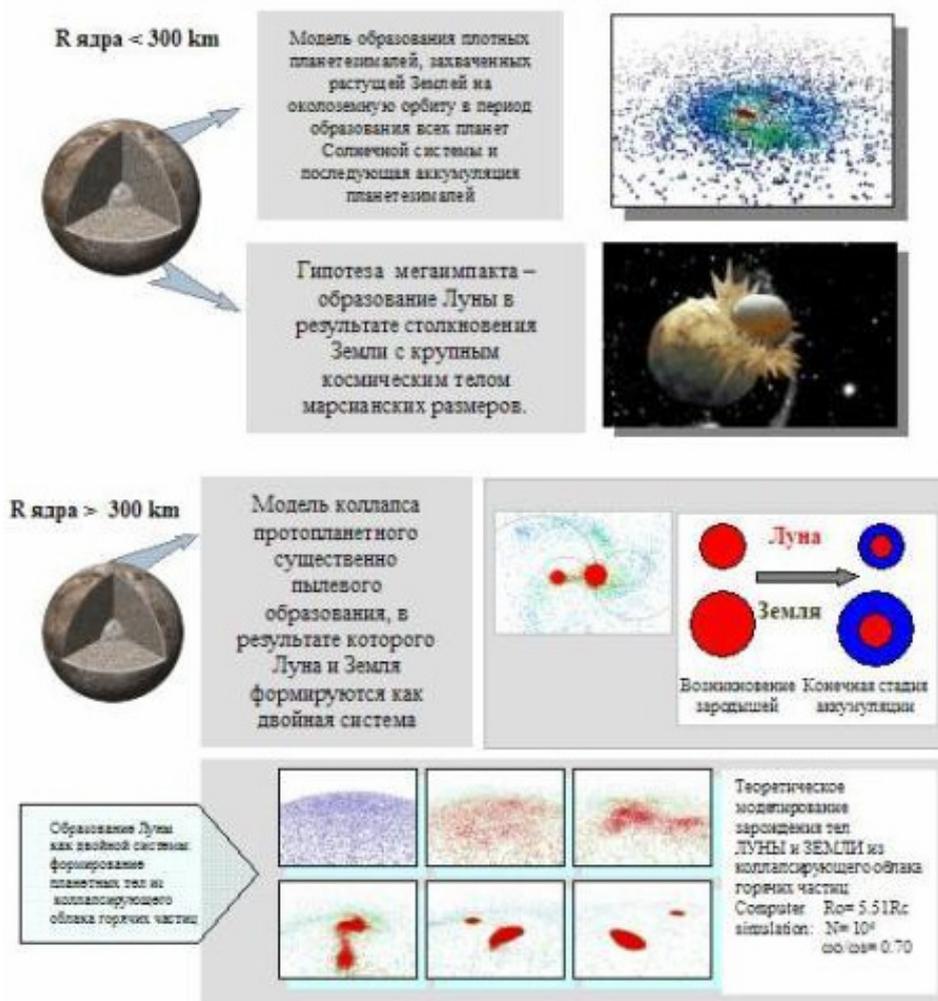


Рис. 8

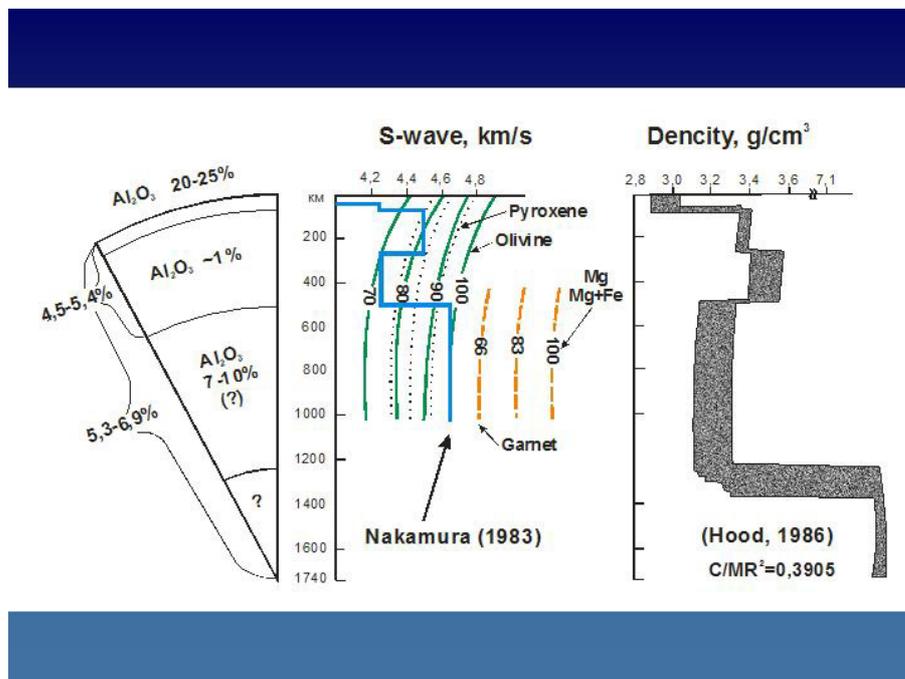


Рис. 9

Концентрация Al и других тугоплавких элементов в лунных недрах может быть оценена только по сейсмическим данным.

Сейсмические данные по миссиям АПОЛЛОН не позволили получить сейсмический профиль и другие характеристики недр Луны для глубин более 1000 км (рис. 9).

Современная интерпретация профиля сейсмических волн в недрах Луны согласуется с высоким содержанием  $Al_2O_3$ . Однако сейсмических данных слишком мало для выбора гипотезы формирования Луны по данному параметру.

Техническим средством для изучения внутреннего строения Луны являются внедряемые зонды-пенетраторы.

*Ожидаемые результаты.* Внутренняя структура Луны и размер ядра, которые позволят сделать выбор наиболее вероятного сценария зарождения и развития системы Земля-Луна.**2. Исследование кратера Южного полюса**

### **Луны**

Основной отличительной особенностью полярных районов Луны является аномальный температурный режим, при котором формирование и дальнейшая эволюция поверхностного слоя происходят в низкотемпературных условиях при незначительном солнечном облучении или даже при полном его отсутствии. Постоянно затененные места в приполярных областях Луны могут служить холодными ловушками для летучих элементов и соединений. Основными задачами исследования кратера Южного полюса Луны являются:

- изучение характеристик лунного грунта, сформированного в экстремальных условиях;
- определение концентраций летучих элементов и соединений  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ , CO,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2S$ ,  $H_2O$ ,  $SO_2$ , COS,  $CS_2$ ;
- определение наличия воды.

Исследование состава летучих Луны представляет огромный интерес и как возможность открыть истоки происхождения и зарождения жизни.

Исследование кратера Южного Полюса Луны позволит определить запасы воды, что необходимо для дальнейших экспедиций, в том числе, для строительства баз на Луне.

Задача по исследованию кратера Южного Полюса Луны будет реализована с помощью посадочного аппарата с комплексом научной аппаратуры.

## **2.3.6. НИИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ИМЕНИ Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА**

### ***2.3.6.1. Эксперимент СолРад на борту российско-индийского спутника 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. Уникальным методом изучения солнечных вспышек и прогноза радиации является комплексный анализ данных, полученных в возможно более широком диапазоне типов и энергий проявлений солнечной вспышки. Наиболее информативный прогноз радиации достигается при объединении регистрации жестких гамма-лучей (с энергиями протонов в сотни и тысячи кэВ) и при непосредственном измерении потоков электронов в том же самом диапазоне энергий, а также потоков протонов с энергией >10 МэВ. Временной ход жестких гамма лучей и динамика их спектра во время вспышки дают точное время появления энергичных частиц на Солнце и их энергию. Будет также определена корреляция между гамма лучами и потоками электронов и протонов в межпланетной среде.

Главная образовательная цель состоит в вовлечении студентов и аспирантов в изучении проблемы солнечной активности для получения реального опыта в подготовке космического эксперимента, его реализации и анализе данных.

#### **Миссия и ее статус**

Спутник должен быть запущен на солнечно-синхронную орбиту с высотой около 600 км в декабре 2008 г. В настоящее время подготовлена и протестирована инженерная модель научного модуля. Она готова для передачи индийской стороне. Подготовленный полетный вариант в настоящее время проходит испытания.

#### **Научное оборудование**

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. Это даст возможность определять корреляции между активностью солнечных вспышек в жестком электромагнитном излучении и интенсивностью заряженных частиц ускоренных во вспышке.

Оба детектора будут помещены в один детектирующий блок, основанный на простой конструкции. Детектор жестких рентгеновских и гамма лучей состоит из сцинтиллятора NaI(Tl)/CsI(Tl) и фотоумножительной фосвич системы. Детектор заряженных частиц является комбинацией четырех кремниевых пластин. Оба измерения, использующие сцинтилляторный и кремниевый детекторы, дают информацию об особенностях солнечных энергичных событий, необходимую для выяснения механизмов ускорения в солнечных вспышках.

Инструмент должен состоять из детектирующего модуля (блока детекторов, БД) и из электронного модуля, обеспечивающего обработку данных на борту и связь прибора с источником питания, телеметрией и командной системой (информационным блоком, ИБ). Общий вид обоих блоков (инженерная модель) представлен на рис. 10, 11.



**Рис. 10.** Общий вид блока детекторов (БД) инструмента СолРад



**Рис. 11.** Общий вид информационного блока (ИБ) прибора СолРад

Модуль детекторов должен включать широкопольный спектрометр жестких гамма лучей (основанной на фосвич NaI(Tl)/CsI(Tl) – пластиковом сцинтилляторе) и телескопа из четырех кремниевых детекторов. Детектирующий блок также включает электронные цепи и элементы конструкции. Электронный модуль должен включать процессоры и память для сбора данных с детекторов и предварительную обработку данных. Этот модуль также содержит электронику, обеспечивающую связь с бортовой системой спутника и передачу мощности и команд на детекторный модуль.

Свойства детектора СолРад суммированы в табл. 1.

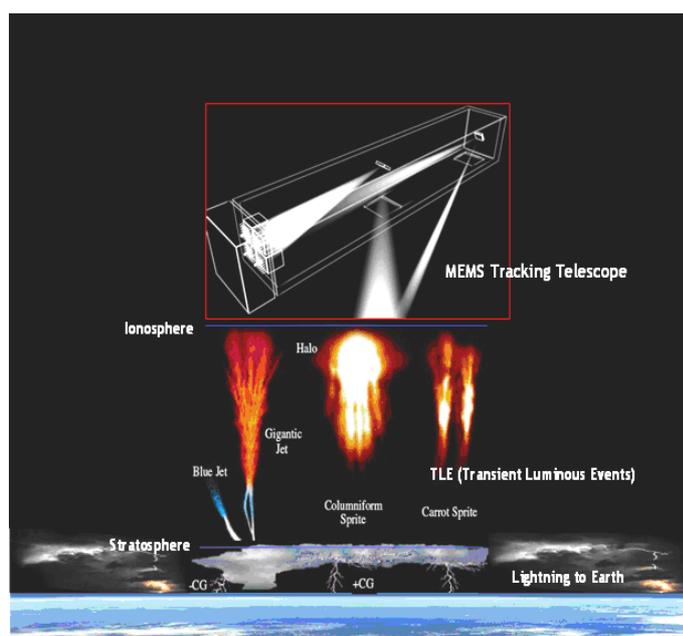
**Таблица 1.** Спецификация детекторов СолРад

	NaI(Tl)/CsI(Tl) фосвич	Кремниевый телескоп
FOV	Всенаправленный	30×30°
Спектральное разрешение	~10% (661 кэВ)	–
Собирающая площадь	~50 см <sup>2</sup>	~6 см <sup>2</sup>
Эффективность	>90 %	>99 %
Спектральный диапазон	0,01–10,0 МэВ (γ-кванты)	0,3–3,0 МэВ (e), 3–100 МэВ (p)

### 2.3.6.2. Эксперимент «Татьяна-2»

Целями эксперимента являются исследования вспышек электромагнитного излучения в верхней атмосфере с помощью комплекса научной аппаратуры, позволяющей регистрировать излучение в широком диапазоне длин волн, получать пространственно- временное изображение вспышки.

В эксперименте для изучения природы вспышек вместе с детекторами электромагнитного излучения используются детекторы заряженных частиц (см. рис. 12).



**Рис. 12.** Схема эксперимента на спутнике «Татьяна-2»

Научная аппаратура подготавливается научными центрами — участниками научно-образовательной коллаборации, включающей МГУ им. М.В. Ломоносова Женский университет Евха (Южная Корея), Автономный университет города Пуэбла (Мексика).

НИИЯФ МГУ осуществляет координацию научно исследовательской работы.

В состав основной научной аппаратуры входят:

- детектор изображения вспышки в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне,
- УФ-спектрометр вспышки,
- детектор УФ и красного света,
- детектор фона заряженных частиц.

### ***2.3.6.3. Эксперимент РЭЛЕК на борту российского малого спутника***

Главной целью проекта является изучение влияния релятивистских электронов на верхнюю атмосферу, изучение транзиентных молниевых эффектов в верхней атмосфере, изучение высыпаний релятивистских электронов и дрепаутов 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 пичч-угловых распределений,
- измерения низких потоков релятивистских электронов благодаря большому геометрическому фактору детекторов.

### **Статус миссии**

Миссия должна быть запущена на круговую околоземную орбиту на высоте в 600 км не позднее, чем в 2010 г. Приборы и научное оборудование находятся в настоящее время в стадии разработки.

### **Научное оборудование**

Научное оборудование включает следующие приборы (рис. 13, 14):

- комплекс рентгеновских, гамма детекторов и детекторов высокоэнергичных электронов, включая два блока детекторов направленных на Землю и один блок, направленный в локальный зенит;

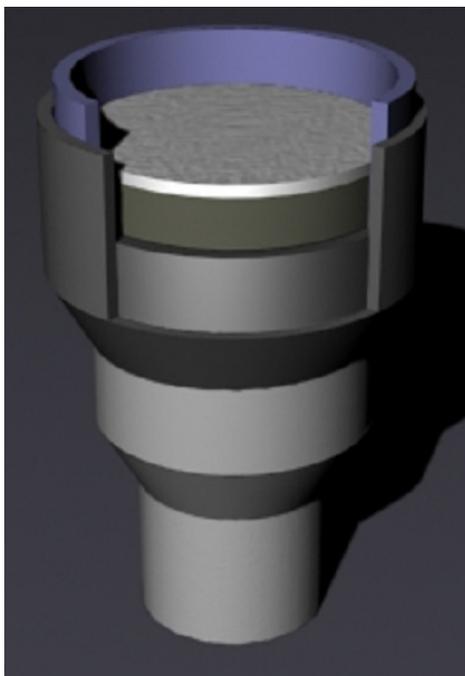
- оптический и ближнего ультрафиолета имиджер, предназначенный для регистрации молниевых событий;
- комплекс детекторов заряженных и нейтральных частиц;
- комплекс радиометрии;
- дозиметрический комплекс.

Диапазон компонент космической радиации, который должен быть измерен в эксперименте:

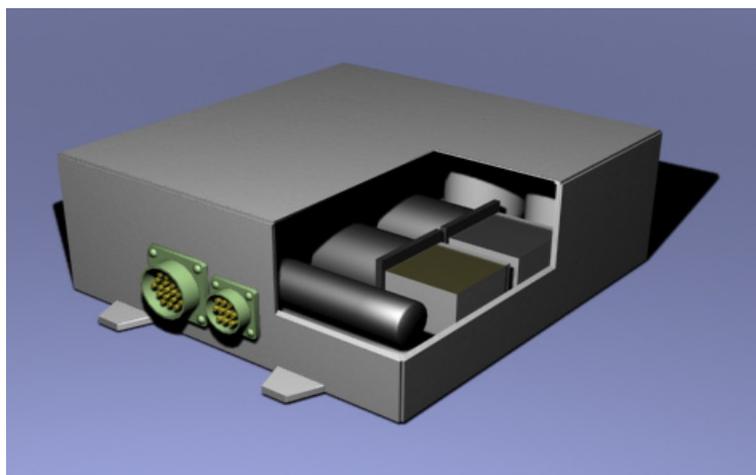
Электроны	0,2–10 МэВ
	>10 МэВ
	>0,3 МэВ
Протоны	0,3–60 МэВ
	>50 МэВ
	3–150 МэВ
Гамма	>150 МэВ
Нейтроны	0,05–1,0 МэВ
Рентгеновские лучи	0,1–30 МэВ
УФ	10–100 кэВ
	300–400 нм

Параметры Рэлек оборудования (полные):

Масса	27 кг
Мощность	36 Вт
Поток данных	10–20 Мб/день



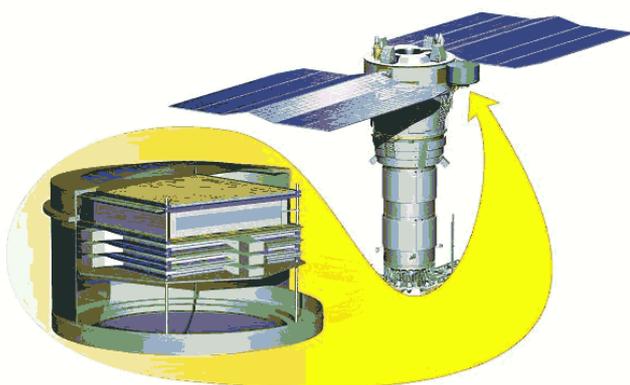
**Рис. 13.** Общий вид блока детекторов рентгеновских, гамма лучей и высокоэнергичных электронов в эксперименте Рэлек



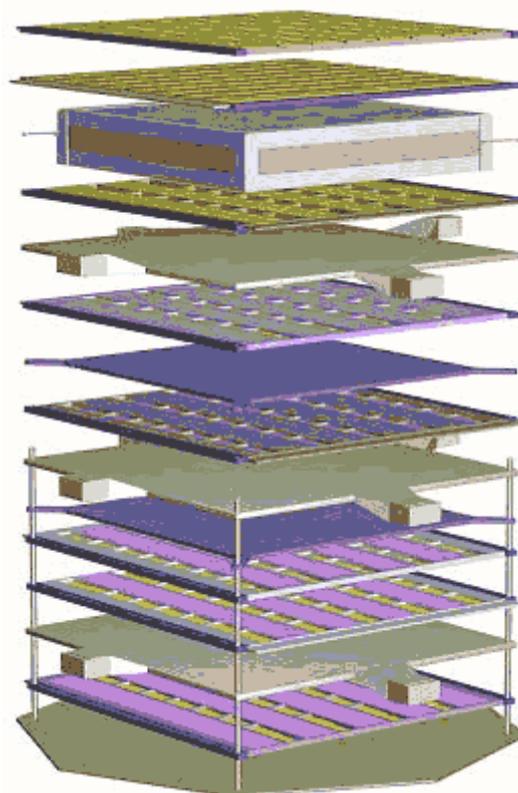
**Рис. 14.** Общий вид детектора заряженных и нейтральных частиц в эксперименте РелЕк

### 2.3.6.4. Эксперимент «НУКЛОН»

Эксперимент «Нуклон» (рис. 15) 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.



**Рис. 15.** Схема эксперимента «Нуклон»



**Рис. 16.** Схема детекторов в эксперименте «Нуклон»

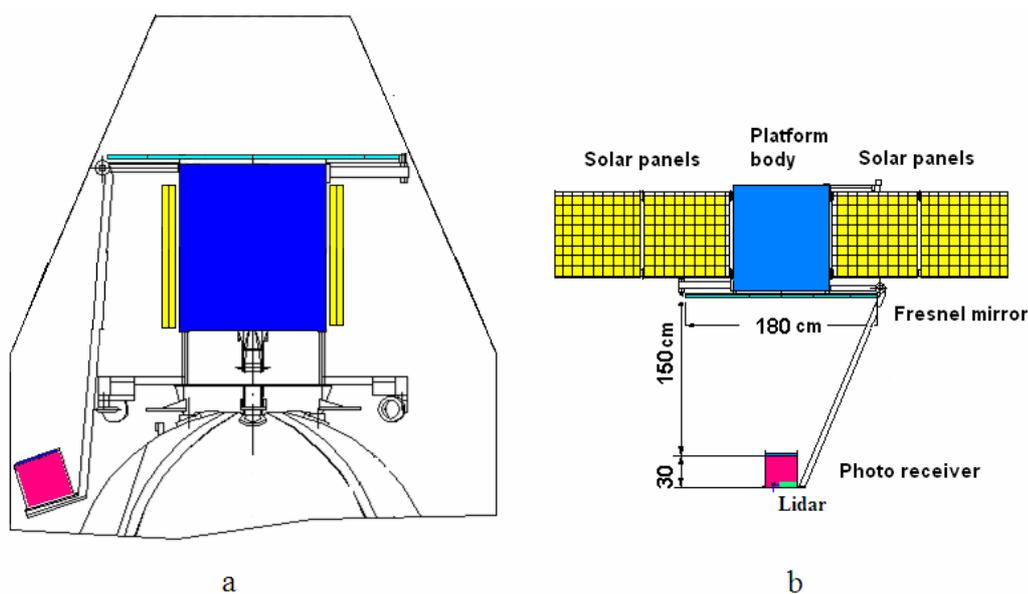
Запланировано создание научной аппаратуры (рис. 16) относительно небольшого веса (менее 200 кг) и габаритных размеров (менее  $1,0 \text{ м}^3$ ), способной решать актуальные задачи экспериментальной физики космических лучей диапазоне энергий  $10^{12}$ – $10^{15}$  эВ. Аппаратура может быть экспонирована как дополнительная нагрузка на серийном российских космических аппаратах при выполнении долговременных целевых задач.

### 2.3.6.5. Эксперимент «ТУС»

Главная цель эксперимента «ТУС» является изучение ультрафиолетовых (УФ) транзиентных явлений в атмосфере.

Разрабатывается конструкция космического детектора УФ излучения (рис. 17) генерируемого в атмосфере лавиной вторичных частиц вызванной

космическими лучами высоких энергий (начиная с энергии около 100 ЕэВ). Интересная особенность детектора состоит в том, параллельно с главной задачей изучения космических лучей экстремальных энергий он будет использован в поисках транзиентных УФ-событий (которые могут быть связаны с событиями частиц экстремальных космических лучей), а также при поиске метеоритов малой массы (гранул пыли). В 2007 г. было начато конструирование зеркала-концентратора с площадью 2 м<sup>2</sup>. Была создана электроника для 256-пиксельного фотосенсора и первая панель. Запуск ТУС запланирован на 2010 г. на борту космической платформы отделенной от спутника «Бион».



**Рис. 17.** Детектор ТУС на борту космической платформы отделенной от спутника «Бион»: *a* — транспортный режим; *b* — действующий режим

## 2.3.7. МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИНСТИТУТ КОСМОФИЗИКИ

### ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 2.3.7.1. Спутниковый эксперимент «АРИНА» по изучению сейсмических эффектов в потоках высокоэнергичных частиц в магнитосфере Земли

##### 1. Введение

В последние годы широко обсуждается возможность использования космических средств для предсказания землетрясений. В частности, для этого предполагается регистрировать различные предвестники землетрясений в околоземном космическом пространстве (ОКП), такие как изменение состава и концентрации ионосферной плазмы, генерация электромагнитного излучения в широком диапазоне частот, вариации квазипостоянных электрических и магнитных полей и другие. В данной эксперименте изучается сейсмомагнитосферное явление — всплески высокоэнергичных заряженных частиц, появляющиеся в ОКП за несколько часов до землетрясений.

Впервые это сейсмомагнитосферное явление было обнаружено в 1985 году в эксперименте «МАРИЯ», поставленном МИФИ на орбитальной станции «Салют-7». В дальнейшем были выполнены обширные экспериментальные (по данным спутниковых измерений: «МАРИЯ-2», «ГАММА-1», «НИНА», «НИНА-2», «ЭЛЕКТРОН», РЕТ (SAMPEX) и др.) и теоретические исследования и определены физические процессы, лежащие в основе взаимосвязи между всплесками частиц и сейсмичностью Земли.

Качественная картина сейсмомагнитосферной связи состоит в следующем (рис. 1).

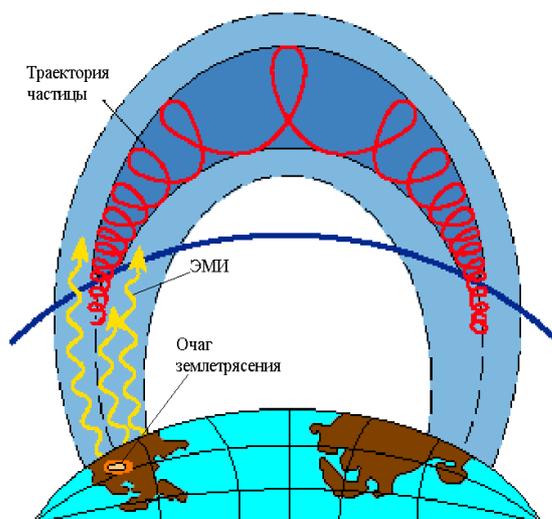


Рис. 1. ЭМИ — электромагнитное излучение сейсмического происхождения; линия — нижняя граница радиационного пояса

В эпицентре предстоящего землетрясения за несколько часов до основного удара начинаются активные разрушения сталкивающихся литосферных плит, в результате чего появляется электромагнитное излучение в широком диапазоне частот. Ультранизкочастотная (УНЧ) компонента этого излучения распространяется в магнитосферу, почти не поглощаясь в атмосфере и ионосфере, и достигает нижней границы радиационного пояса. Между высокоэнергичными заряженными частицами (электронами и протонами с энергиями порядка десятков МэВ) радиационного пояса и УНЧ-излучением происходит взаимодействие квазирезонансного типа.

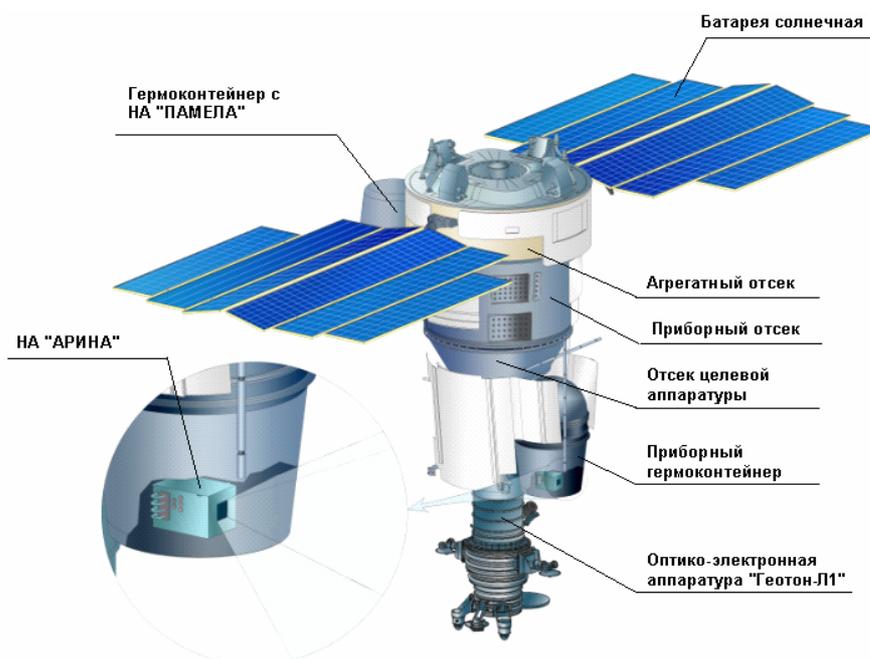
В результате происходит высыпание частиц на высоты ниже атмосферной границы радиационного пояса. Далее такие электроны и протоны дрейфуют вокруг Земли в противоположные стороны и формируют при определенных условиях волну из высыпавшихся частиц (названную ГКВ волной), распространяющуюся вдоль L-оболочки, содержащей очаг готовящегося землетрясения. Время полного долготного оборота ГКВ волны вокруг Земли составляет величину порядка нескольких десятков секунд — нескольких минут в зависимости от энергии частиц. При пересечении космическим аппаратом такой возмущенной L-оболочки приборы регистрируют всплеск частиц, который может быть наблюден на любой долготе, не обязательно совпадающей с долготой землетрясения. Таким образом, этот тип предвестника землетрясений имеет общепланетарный (глобальный) характер. Было показано, что, измеряя характеристики всплеска частиц (место его регистрации, энергетические спектры и временные профили), можно определить географические координаты области, над которой произошло высыпание частиц, то есть положение эпицентра землетрясения.

Сегодня актуальным является изучение прогностических характеристик космических предвестников землетрясений, и применительно к рассматриваемому предвестнику необходимо исследование следующих задач: определение вероятности появления всплесков частиц – предвестников землетрясений, разработка методов идентификации сейсмических всплесков частиц и всплесков частиц, имеющих другую физическую природу (солнечно-магнитосферную, грозовую и др.), выявление взаимосвязи между магнитудой землетрясений и характеристиками всплесков частиц. Запуском летом 2006 г. космического аппарата «Ресурс-ДК» № 1, на котором поставлен эксперимент «АРИНА» по регистрации всплесков высокоэнергичных заряженных частиц, сделан новый шаг в решении перечисленных задач.

## **2. Условия проведения эксперимента**

Эксперимент «АРИНА» осуществляется на низкоорбитальном космическом аппарате «Ресурс-ДК» № 1 с параметрами орбиты: высотой в пределах 350–600 км и наклоном 70°. На рис. 2 приведена схема

размещения основных узлов на борту космического аппарата. Спектрометр «АРИНА» установлен в приборном гермоконтейнере.



**Рис. 2.** Схематическое изображение космического аппарата «Ресурс ДК» № 1

Толща вещества в поле зрения спектрометра составляет около  $0,5 \text{ г/см}^2$ . 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 трех лет. Измерения потоков частиц проводятся непрерывно с июля 2006 г.

### 3. Краткое описание научной аппаратуры

Специализированная аппаратура для регистрации всплесков высокоэнергичных электронов и протонов была разработана МИФИ. Ее физическая схема приведена на рис. 3. Многослойный сцинтилляционный детектор (С1, С2, ..., С10) является главной частью прибора.

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. Спектрометр позволяет проводить измерения энергетических спектров частиц и их эволюцию, определять временные профили всплесков частиц с высоким временным разрешением, может работать в высокоинтенсивных потоках частиц. Светосила прибора, определяемая конфигурацией его детекторов (С1, С2 и С3), составляет величину порядка  $10 \text{ см}^2 \text{ ср}$ , что в несколько десятков раз выше, чем светосила аппаратуры, с помощью которой были получены основные результаты по наблюдению сейсмических эффектов в потоках частиц.

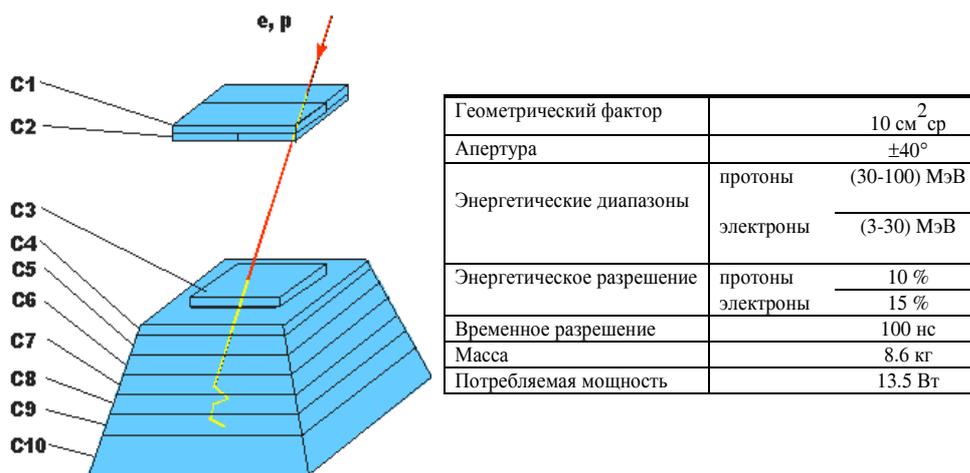


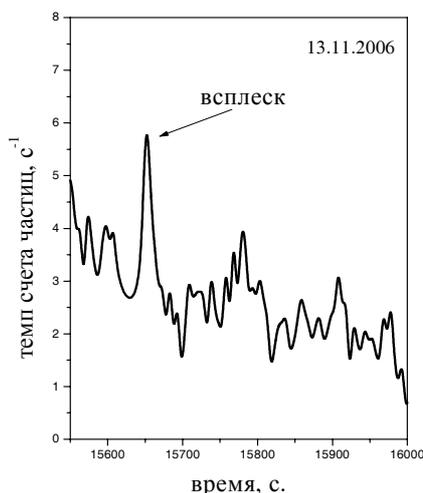
Рис. 3. Физическая схема и характеристики спектрометра «АРИНА»

#### 4. Первые экспериментальные результаты

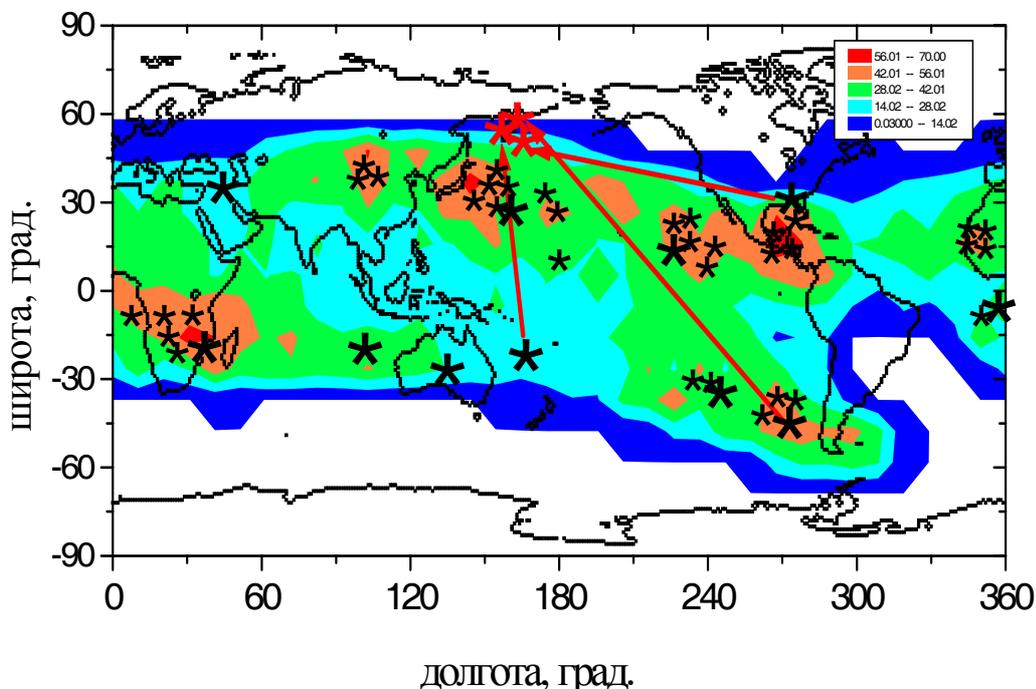
##### *Регистрация всплесков высокоэнергичных заряженных частиц.*

В течение первых полутора лет непрерывных измерений потоков частиц было обнаружено несколько десятков всплесков частиц ( $>5\sigma$ ). Пример регистрации одного из всплесков частиц показан на рис. 4. Совместный анализ пространственных и временных распределений зарегистрированных всплесков частиц и данных по солнечным событиям, индексам глобальной геомагнитной активности, геомагнитным пульсациям, геофизическим явлениям показал, что всплески частиц имели различную природу: солнечно-магнитосферную, сейсмическую, грозовую. Была оценена доля всплесков частиц сейсмической природы (предвестников землетрясений): 15–20 % среди всех зарегистрированных всплесков.

На рис. 5 показаны географические положения всплесков высокоэнергичных заряженных частиц, зарегистрированных в эксперименте «АРИНА» в рассматриваемый период времени (черные звездочки; более крупные символы — всплески частиц — возможные предвестники землетрясений: после таких всплесков частиц происходило спустя несколько часов землетрясение на L координате всплеска). Для иллюстрации также показаны положения очагов некоторых землетрясений (красные звездочки), красные стрелки указывают на землетрясения и всплески частиц, которые рассматриваются как возможные предвестники этих землетрясений.



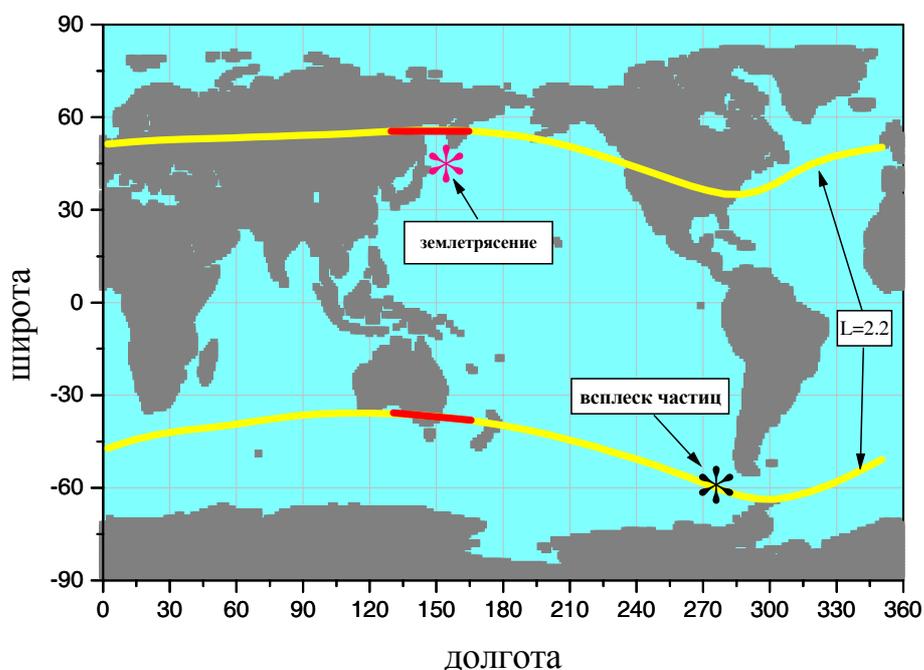
**Рис. 4.** Регистрация всплеска высокоэнергичных электронов ( $L = 2,2$ )



**Рис. 5.** Географическое распределение частоты появления всплесков высокоэнергичных частиц. Построено по данным экспериментов «МАРИЯ-2», «ГАММА-1», SAMPEX-PET и «АРИНА». Для эксперимента «АРИНА» нанесены отдельные события (черные звездочки)

В настоящее время можно реализовать следующий подход к использованию всплесков частиц для дистанционной диагностики локальных магнитосферных и геофизических возмущений, включая сейсмические. Если спектрометром на космическом аппарате зарегистрирован всплеск высокоэнергичных заряженных частиц, то можно определить местоположение (широту) локального возмущения радиационного пояса, которое должно находиться на  $L$ -оболочке места регистрации всплеска частиц. В случае сейсмического возмущения, возникшего в процессе подготовки землетрясения, будет определена широта очага предстоящего

землетрясения. Если измерения позволяют (есть разность во времени регистрации групп всплесковых частиц с разными энергиями), то с помощью анализа временной структуры и энергетических спектров частиц, регистрируемых во время наблюдения всплеска можно получить дополнительные ограничения на долготу местоположения возможного источника возмущения радиационного пояса, то есть на долготу очага предстоящего землетрясения. Рисунок 6 иллюстрирует описанный подход.



**Рис. 6.** События 13.11.2006 г.: всплеск частиц (4 ч 20 мин);  
землетрясение  $M = 5,0$  (6 ч 30 мин)

Отметим, что уже предварительные данные, полученные в эксперименте «АРИНА», показывают, что всплески частиц могут представлять дополнительную полезную информацию для осуществления оперативного прогноза землетрясений.

*Регистрация солнечно-магнитосферных событий.* Наряду с основной задачей в эксперименте проводится изучение вариаций потоков электронов и протонов, приходящих из межпланетного пространства. Это возможно на высокоширотных участках орбиты. Было обнаружено несколько возрастных потоков частиц, связанных с развитием солнечных событий. Наиболее яркие вариации интенсивности протонов и электронов были измерены в декабре 2006 г. после серии мощных солнечных событий. Дополнительный анализ различных триггерных сигналов спектрометра в этот период позволил получить указания на регистрацию повышенных потоков гамма-квантов (3–20 МэВ). Сравнение полученных данных с результатами измерений потоков протонов и электронов на других космических аппаратах (GOES, POES, PAMELA и др.) в целом показывает согласующуюся картину в

наблюдательных данных, при этом в эксперименте «АРИНА» выявлены и дополнительные особенности, по-видимому, связанные с различиями в орбитах космических аппаратов и в энергетических диапазонах регистрируемых частиц.

### **2.3.7.2. Проект «МОНИКА»: «Монитор космических ядер и ионов»**

#### **1. Научные цели**

Основными научными целями проекта «МОНИКА» являются:

- Изучение физических механизмов генерации космических лучей, образующихся в активных процессах на Солнце и в гелиосфере.
- Мониторинг ядерного, изотопного и ионного состава космических лучей в околоземном космическом пространстве.

#### **2. Объект исследований и задачи эксперимента**

Объектом исследований данного проекта являются потоки ионов солнечных, аномальных и галактических космических лучей в диапазоне энергий 10–300 МэВ/н в окрестности Земли, магнитное поле которой предполагается использовать в качестве сепаратора для определения зарядовых состояний ионов КЛ.

Основными задачами спутникового эксперимента «МОНИКА» являются:

- Измерение ионного, элементного и изотопного состава, а также энергетических спектров потоков солнечных космических лучей от He до Ni в диапазоне энергий 10–300 МэВ/н для отдельных солнечных событий (включая небольшие импульсные события). Исследование эволюции этих характеристик во время развития активных процессов на Солнце.
- Измерение ионного и изотопного состава аномальных космических лучей (АКЛ), включая новые элементы и изотопы, обнаруженные на космическом аппарате АСЕ (сера, изотопы кислорода и неона); измерение энергетических спектров АКЛ.
- Измерение модуляции потоков ГКЛ и АКЛ с целью изучения условий распространения частиц в гелиосфере.
- Изучение процессов проникновения КЛ в магнитосферу Земли в условиях ее сильного возмущения во время солнечно-магнитосферных событий.

#### **3. Научная аппаратура**

Мониторинг потоков ядер КЛ от водорода до железа в диапазоне энергий 10-300 МэВ/н предполагается провести с помощью светосильного спектрометра-телескопа «МОНИКА», построенного на основе стопки стриповых полупроводниковых детекторов, обладающих высоким

координатным, массовым и энергетическим разрешениями. Аналогичный тип детекторов применялся ранее в экспериментах по исследованию потоков космических лучей НИНА, НИНА-2, ПАМЕЛА подготовленных МИФИ, ФИАН и СПб ФТИ совместно с Национальным Институтом Ядерной Физики Италии (INFN).

Физическая схема спектрометра «МОНИКА» представлена на рис. 1. Спектрометр состоит из 22-х детектирующих плоскостей D1-D22 различной толщины (от 0,230 до 1 мм). Каждая плоскость представляет собой ковер из кремниевых координатно-чувствительных детекторов. Полная толщина спектрометра составляет 5 г/см<sup>2</sup>. Первые две плоскости D1, D2 определяют апертуру прибора ( $\pm 45^\circ$ ). Они имеют размеры 160×160×0,230 мм, расстояние между ними — 160 мм. Плоскости D3–D22 образуют калориметр. Размеры плоскостей D3–D22 выбраны таким образом, чтобы они перекрывали апертуру телескопа. Толщина плоскостей D3–D22 оптимизирована для достижения наилучшего массового разрешения спектрометра. Габаритные размеры калориметра составляют 320×320 мм. Под стопкой кремниевых детекторов расположен детектор антисовпадений АС, представляющий собой пластический сцинтилляционный детектор толщиной 10 мм. Боковые детекторы SAC1–SAC4, а также пластические сцинтилляционные детекторы толщиной 10 мм) и нижний детектор АС антисовпадений необходимы для режекции фоновых изотопов, образующихся в реакциях взаимодействия высокоэнергичных КЛ с веществом прибора.

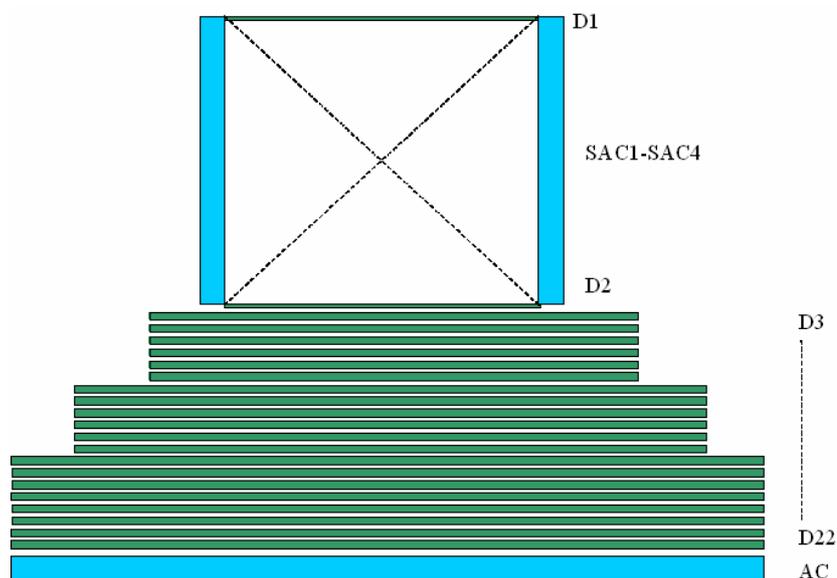


Рис. 1. Физическая схема спектрометра-телескопа «МОНИКА»

Основной триггер спектрометра-телескопа имеет следующий вид:  $D1 \times D2 \times ANTI$  ( $AC + SAC1 + SAC2 + SAC3 + SAC4$ ). Для обеспечения оптимальных условий измерения потоков КЛ при различных нагрузках предусмотрено несколько конфигураций триггера, когда в совпадения включаются сигналы с отдельных сегментов плоскостей D1, D2.

Идентификация частиц (заряд ядра, масса), регистрируемых спектрометром «МОНИКА», производится при помощи метода  $\Delta E-E$  и его модификаций. Угол влета частицы определяется по координатам сработавших стрипов в детекторах D1, D2. Энергия частицы определяется как по пробегу, так и по энерговыделениям в каждом детекторе.

Спектрометр «МОНИКА» имеет геометрический фактор в 2 раза больше, чем аналогичные приборы, установленные на АСЕ, и в 20-30 раз больше, чем приборы, используемых в экспериментах на орбитах внутри магнитосферы Земли (SAMPEX, НИНА и НИНА-2, НИТ).

Основные физические и технические характеристики спектрометра-телескопа «МОНИКА» приведены ниже.

#### *Физические характеристики прибора «МОНИКА»*

Геомфактор		100 см <sup>2</sup> ср
Апертура		$\pm 45^\circ$
Угловое разрешение		1°
Энергетический диапазон для	H	7–70 МэВ/н
	He	7–70 МэВ/н
	O	16–150 МэВ/н
	Si	20–210 МэВ/н
	Ca	24–260 МэВ/н
	Fe	25–290 МэВ/н
	Ni	27–310 МэВ/н
Энергетическое разрешение		1 %
Массовое разрешение (а.е.м.)	H	0,02
	CNO	0,08
	Fe	0,2
Разрешающее время		50 нс
Мертвое время		<1 мс

#### *Технические характеристики прибора «МОНИКА»*

Габаритные размеры, мм	520×520×450
Масса, не более, кг	50
Потребляемая мощность, не более, Вт	80
Напряжение питания, В	27
Кол-во вещества в апертуре, не более, г/см <sup>2</sup>	0,05
Частота сбросов информации на Землю, 1/сутки	не менее 1

Эксперимент «МОНИКА» будет проводиться на борту малоразмерного космического аппарата (МКА) № 2, разрабатываемого НПО им. С.А. Лавочкина. В эксперименте принимают участие Московский Инженерно-Физический Институт (МИФИ), Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН), Физико-технический институт им. А.Б. Иоффе РАН (СПб ФТИ) и Объединенный Институт ядерных исследований (ОИЯИ). Головной организацией является МИФИ.

Для решения научных задач эксперимента «МОНИКА» будут выбраны следующие параметры орбиты МКА № 2: тип орбиты — околоземная, круговая; высота — 600–700 км; наклонение  $98^\circ$ . Прибор «МОНИКА» будет ориентирован в зенит.

Начало эксперимента планируется на 2011 г. Наблюдения будут проводиться непрерывно, в мониторинговом режиме. Срок активного существования — не менее 5 лет.

## 2.3.8. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ И ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

### 2.3.8.1. Космический эксперимент «Импульс 1 этап». «Модификация ионосферы импульсными источниками плазмы»

Цель эксперимента: исследование возмущений и модификаций ионосферы при инжекции с борта РС МКС импульсных плазменных потоков.

Задачи космического эксперимента (КЭ):

- регистрация и изучение электрофизических параметров вблизи поверхности СМ РС МКС в различных условиях полета МКС и в различных гелиогеофизических условиях на орбите МКС;
- изучение влияния импульсных плазменных потоков на электрофизические параметры среды вблизи поверхности РС МКС, изучение разрядных процессов на поверхности СМ;
- регистрация и изучение пространственно-временных параметров искусственных возмущений ионосферы с помощью наземных измерительных средств;
- регистрация наземными средствами низкочастотных широкополосных сигналов и излучений в период работы плазменного инжектора;
- анализ сигналов и излучений электромагнитных волн КНЧ/ОНЧ-диапазонов, обусловленных работой плазменного инжектора, и изучение их распространения до земной поверхности;
- проведение радиолокационных наблюдений и изучение влияния искусственных возмущений ионосферы на распространение радиоволн в УКВ/КВ-диапазонах частот;
- отработка методики контроля возмущений ионосферы с помощью анализа волноводного распространения ОНЧ-сигналов и излучений: проведение амплитудно-фазовых измерений сигналов наземных станций радионавигационной системы «Альфа» при инъекциях плазменных потоков с борта РС МКС.

В результате КЭ должны быть изучены:

- закономерности возмущения и релаксации электрических полей вокруг СМ при инжекции импульсных плазменных потоков;
- закономерности возмущения и релаксации плотности электронов в ионосфере при инжекции импульсных плазменных потоков;
- закономерности генерации излучений в КНЧ/ОНЧ диапазонах и их распространения до Земли при инъекциях плазмы с борта МКС;
- закономерности распространения навигационных сигналов ОНЧ-диапазона частот при наличии плазменных образований.

Название комплекса научной аппаратуры: «НА ИПИ – СМ»

*Состав НА ИПИ-СМ*

- импульсный плазменный инжектор ИПИ-100;
- комплекс контроля электрофизических параметров ККЭП.

*Технические характеристики ИПИ-100*

- режим работы — импульсный;
- частота следования рабочих импульсов 2 Гц;
- длительность импульса 10...15 мкс;
- потребляемая мощность 100 Вт;
- среднемаховая скорость истечения плазмы 15 км/ч
- скорость ионов в потоке до 40 км/с

*Технические характеристики ККЭП*

- напряженность постоянного электрического поля 0,5–6 кВ/м;
- напряженность переменного электрического поля 0,1–10 кВ/м;
- счетчик импульсного поля  $10-2 \cdot 10^4$  Гц;
- ток натекания  $(0,1-1) \cdot 10^4$  А.

Все измерения проводятся по осям X и Y МКС.

*Наземный измерительный комплекс КЭ*

- Троицк, Московская обл.;
- Паратунка, Камчатская обл.;
- Владикавказ, Северная Осетия;
- Васильсурск, Нижегородская обл.;
- Якутск, Республика Саха.

Используются следующие методы диагностики искусственных возмущений ионосферы:

- вертикальное и наклонное зондирование ионосферы ионозондами;
- радиолокационные измерения в КВ и УКВ-диапазонах;
- экспедиционные наблюдения с использованием широкополосных УНЧ/КНЧ/ОНЧ-приемников.

Все выбранные для наземных измерений пункты характеризуются низкими фоновыми помехами, что важно ввиду невысокого уровня полезных сигналов, возбуждаемых при инъекциях плазмы.

Доставка НА ИПИ-СМ на борт МКС планируется в ноябре 2008 г.

Подключение аппаратуры и начало эксперимента — в 1-м полугодии 2009 г.

Завершение эксперимента в 2011 г.