

### 3. Краткие аннотации работ, выполняемых по проектам космических исследований

#### 1. Проекты в стадии реализации

##### **1.1 Эксперименты ОМЕГА, СПИКАМ, ПФС на космическом аппарате ЕКА «Марс Экспресс»**

Европейский космический аппарат «Марс Экспресс» запущен с космодрома Байконур 3 июня 2003г. Научные наблюдения ведутся с 4 января 2004г. В январе 2016 г исполнилось 12 лет с начала работы комплекса научной аппаратуры для исследования поверхности, атмосферы и климата планеты Марс.

В составе комплекса научной аппаратуры продолжают работать три спектрометрических прибора, разработанные с российским участием. В ИКИ РАН изготовлены входная оптика и сканер картирующего спектрометра ОМЕГА, детекторы и калибровочное оборудование для Фурье-спектрометра ПФС и инфракрасный канал универсального спектрометра СПИКАМ. Все три эксперимента в целом функционируют номинально, некоторые недочеты связаны с шестикратным превышением запланированного ресурса работы:

- Прибор ОМЕГА (российский сканер): в связи с износом охладителя детекторов после многократного превышения гарантированного времени наработки с 2010г не работает канал SWIR. Прибор продолжает наблюдения в двух оставшихся каналах VIS (не требует охлаждения) и MWIR (охладитель в рабочем состоянии). Российский сканер прибора работает с небольшими ограничениями по тепловому режиму, не влияющими на качество получаемых научных результатов.
- Прибор СПИКАМ (российский ИК спектрометр). С мая 2015 г УФ-канал прекратил работу из-за отказа преобразователя высокого напряжения. С этого момента все ресурсы эксперимента СПИКАМ отданы российскому ИК-каналу прибора. Российский канал – ИК-спектрометр на базе акустооптического перестраиваемого фильтра (АОПФ) продолжает работу без замечаний.
- Прибор ПФС (российские детекторы) – без замечаний.

Производилась оперативная оценка технического состояния, проверка функционирования научных приборов и планирование наблюдений. Продолжается накопление и анализ длинных рядов измерений. Так, по данным ИК-канала прибора СПИКАМ опубликованы результаты многолетнего мониторинга свечения молекулярного кислорода, наиболее чувствительного индикатора фотохимических процессов в атмосфере Марса 5 марсианских лет [Guslyakova et al., 2016].

22 ноября 2016г комитет научных программ ЕКА продлил управление КА «Марс Экспресс» до конца 2018г. КА находится в хорошем состоянии и обладает достаточным резервом топлива для разгрузки гиродинов. Большинство приборов научного комплекса КА сохраняют работоспособность.

После запуска КА «ЭкзоМарс» в марте 2016 г проведено планирование наблюдений спектральными приборами КА «Марс Экспресс» для калибровки и валидации приборов «ЭкзоМарс TGO», российского комплекса АЦС и бельгийского спектрометра NOMAD. Программа скорректирована для уточнения небесно-механических параметров после выхода КА «ЭкзоМарс TGO» на промежуточную 4х- суточную орбиту 19 октября 2016г. Эти наблюдения должны обеспечить фотометрические измерения приборами ПФС, ОМЕГА и СПИКАМ-ИК тех же участков поверхности, что и наблюдаемые КА «ЭкзоМарс TGO» во время проверочных включений 22-28 ноября 2016г.

##### **1.2 Эксперименты спектрометрический комплекс АЦС, нейтронный спектрометр ФРЕНД для КА ЕКА Trace Gas Orbiter, проект «ЭкзоМарс16»**

(шифр темы – научный сотрудник

«ЭкзоМарс-СП», «ЭкзоМарс-ЯФ»)

Заказчик – Федеральное космическое агентство.

Орбитальный КА TGO (Trace Gas Orbiter) предназначен для изучения малых газовых примесей атмосферы в рамках проекта «ЭкзоМарс-2016». ИКИ РАН разработал два прибора для КА TGO:

- 1) Спектрометрический комплекс АЦС (ACS – Atmospheric Chemistry Suite) предназначен для изучения химического состава атмосферы и климата Марса. Он состоит из трех спектрометров (эшелле-спектрометры ближнего и среднего ИК диапазона и Фурье-спектрометр) и системы сбора информации.
- 2) Коллимированный нейтронный детектор ФРЕНД (FREND – Fine Resolution Epithermal Neutron Detector) предназначен для регистрации альбедных нейтронов, возникающих в грунте Марса под воздействием галактических и солнечных космических лучей, и построения с высоким пространственным разрешением глобальных карт распределения водяного льда в верхнем слое грунта Марса. ФРЕНД также включает в себя блок дозиметрии.

КА TGO был успешно запущен в марте 2016 года и в октябре 2016 года вышел на орбиту Марса. Спектрометрический комплекс АЦС и нейтронный спектрометр ФРЕНД успешно прошли включения и калибровки во время перелета к Марсу. Наблюдения в рамках научной программы на переходной высокоэллиптической орбите стартуют в конце ноября 2016 года и продлятся до марта 2017 года, когда начнется процесс торможения КА в атмосфере Марса. После выхода на круговую орбиту в конце 2017 года начнется номинальная научная программа.

## 2. Проекты в стадии ОКР

### 2.1 Проект «ЭкзоМарс-2020»

В рамках миссии «ЭкзоМарс-2020» года на поверхность Марса с помощью разрабатываемого в России во ФГУП «НПО им С.А. Лавочкина» десантного модуля будет доставлен марсоход ЕКА массой около 300 кг.

Задачами марсохода являются геологические исследования и поиск следов жизни в подповерхностном слое Марса. ИКИ РАН разрабатывает два прибора для установки на марсоход: инфракрасный спектрометр ИСЕМ и нейтронный спектрометр АДРОН-РМ. ИСЕМ представляет собой инфракрасный спектрометр, устанавливаемый на мачте марсохода и служащий для минералогического анализа поверхности. АДРОН-РМ используется для регистрации нейтронного альбеда, генерируемого космическими лучами в грунте и зависящего от количества водяного льда в нём, и построения локальной карты распределения водяного льда вдоль трассы движения марсохода. В настоящий момент завершено изготовление макетов приборов ИСЕМ и АДРОН-РМ и идет изготовление штатных образцов.

После схода марсохода с посадочной платформы, последняя начнет свою научную миссию как долгоживущая стационарная платформа (ожидаемый срок жизни – один земной год). Комплекс научной аппаратуры (КНА-ЭМ) массой 45 кг (13 приборов) разрабатывается под руководством ИКИ РАН. Основные научные задачи КНА:

- долговременный мониторинг климатических условий на марсианской поверхности в месте посадки;
- исследование состава атмосферы Марса с поверхности;
- мониторинг радиационной обстановки в месте посадки.
- исследование взаимодействия атмосферы и поверхности;
- изучение распространенности воды в подповерхностном слое.

В настоящий момент идет изготовление макетов приборов КНА-ЭМ.

### 2.2 Спектрометрические приборы с российским участием в проекте ESA и JAXA «Бепи Колумбо»

В рамках темы «Беги Колумбо» продолжается работы по испытаниям летной аппаратуры в составе научного комплекса из европейского МРО, японского ММО и перелетного модуля для полета на Меркурий. В составе МРО проходит испытания ультрафиолетовый спектрометр ФЕБУС, где используется российский входной оптический блок с системой наведения прибора в заданном направлении. А в составе ММО проходит испытания натриевая камера МСАСИ, в которой используется российский блок оптико-механической развертки для получения изображения. Запуск КА «Беги Колумбо» к Меркурию планируется в 2018 г.

### **2.3 Проект « Планетный Мониторинг»**

Разработка космического телескопа «Планетный мониторинг» (ПМ) СЧ ОКР («ОАО "РКК "Энергия"») [http://knts.tsniimash.ru/ru/site/Experiment\\_q.aspx?idE=90](http://knts.tsniimash.ru/ru/site/Experiment_q.aspx?idE=90).

Запланированы подготовка КЭ: 2017..2018 гг., проведение с 2019 г. КЭ «Планетный мониторинг» – эксперимент по наблюдению планет и малых тел Солнечной системы и технологической отработке наблюдения экзопланет.

Уточнен состав кооперации и заключается договор на разработку рабочей документации и изготовление опытного образца КНА ПМ... »

### **2.4 «Комплекс дополнительной НА для исследования экзопланет»**

Разработка Блока Камер Поля (БКП) оптического телескопа «Спектр-УФ», диаметром 1,7 м, с планируемым запуском в 2021 г. Согласованы предложения по дополнительным инструментам по исследованию экзопланет спектральным УФ исследованием корон экзопланет в линиях водорода, кислорода и азота, а также по звездному коронографу в видимом диапазоне для получения изображения экзопланет в зоне обитания. Данная кооперация развивается с участием японских коллег из университета Риккё, г. Токио и Японской Национальной Астрономической Обсерватории (NAOJ) и Центра Астробиологии, Токио. Материалы разработок согласовано представить в ДЭП на БКП.

### **2.5 Проект « Дриада»**

Целью космического эксперимента «Дриада», проводимого ИКИ РАН, является накопление данных измерений спектров поглощения атмосферной углекислоты и метана в течение не менее 3х лет, для дальнейшего исследования распределения и трендов концентраций парниковых газов в земной атмосфере. Ключевым узлом аппаратуры является двухканальный инфракрасный спектрометр

высокого разрешения, записывающий спектры поглощения в ближнем ИК-диапазоне. Концентрация CO<sub>2</sub> определяется по ненасыщенной полосе 1,58 мкм, CH<sub>4</sub> – по полосе 1,65 мкм. Кроме того, измеряются две полосы поглощения атмосферного кислорода 1,27 мкм и 0,76 мкм, которые используются при обработке в качестве каналов сравнения для определения эффективной воздушной массы при наличии аэрозоля. В отдельный канал всего комплекса аппаратуры выделен инфракрасный спектрометр на кислородную полосу 0,76 мкм.

Ожидаемые результаты КЭ:

- Будет отработана технология создания компактных спектрометров высокого спектрального разрешения и светосилы для работы в открытом космосе;
- Для непрерывного покрытия освещенных участков орбит будет получены массивы калиброванных спектров пропускания атмосферы в ближнем ИК диапазоне для надирных измерений для восстановления концентраций парниковых газов (данные 1 уровня);
- Благодаря использованию платформы наведения будет набрана уникальная статистика спектров пропускания по наблюдению бликов для последующей обработки в более простом приближении, что позволит повысить точность и достоверность выходных научных данных;
- Будут получены массивы концентраций парниковых газов в континентальных районах для различных сезонов в от экватора до  $\pm 52^\circ$  широты (данные 2 уровня) для дальнейшего анализа

В 2016 году были завершены два этапа договора между ИКИ РАН и РКК Энергия по работам КЭ Дриада: «Разработка КД и ЭД на КПА. Разработка ПО КПА.» и

«Изготовление КПА НА.». По этапу работы "Разработка КД и ЭД на макеты и образцы" была выявлена необходимость корректировки ТЗ, в настоящий момент дополнение к ТЗ проходит необходимые согласования в РКК Энергия.

## **2.6 Проект СПЕКТР-РЕНТГЕН-ГАММА «Спектр-РГ»**

Орбитальная обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма» предназначена для обзора всего неба зеркальными рентгеновскими телескопами в жестком диапазоне энергий (0,5—11 килоэлектрон-вольт, или кэВ). Обзор станет рекордным в этом диапазоне энергий благодаря высокой чувствительности, которая обеспечивается большой эффективной площадью зеркальных систем, высоким угловым разрешением оптики и исключительно широким для таких телескопов полем зрения. В состав научной аппаратуры обсерватории включено два зеркальных рентгеновских телескопа: eROSITA (Германия) — основной инструмент миссии, весом 760 кг, работающий в диапазоне энергий 0,5—10 кэВ и, прибор ART-XC (Россия), весом 350 кг, дополняющий немецкий инструмент в более жестком диапазоне энергий 6 - 30 кэВ. Обсерватория будет выведена на орбиту в окрестностях точки L2 — одной из пяти существующих в системе Солнце — Земля точек либрации, в которых возмущающие гравитационные воздействия на космический аппарат со стороны Солнца и Земли сведены к минимуму. Точка L2 расположена на линии Солнце — Земля в 1,5 миллионах километров за Землей. В 2016 году велись работы в соответствии с Техническим заданием и планом-графиком работ.

## **2.7 Проект МВН**

Монитор Всего Неба – эксперимент по измерению рентгеновского фона в жестком рентгеновском диапазоне. Эксперимент будет установлен на Российский сегмент МКС. В 2016 году велись работы в соответствии с Техническим заданием и планом-графиком работ. Основной объем работ связан с методами измерений космического рентгеновского фона, начиная с первых ракетных и стратостатных экспериментов, и заканчивая измерениями, проведенными при помощи орбитальных рентгеновских обсерваторий последнего поколения. Особое внимание уделено проблемам учета вклада фоновых событий в измерения инструментов рентгеновского и жесткого рентгеновского диапазонов. Начато производство летного образца.

## **2.8 ОКР «Обстановка»**

Проведение летных испытаний эксперимента «Обстановка-1» на МКС.

## **2.9 ОКР «Резонанс»**

Продолжались работы по созданию научных приборов (технологические образцы и КДО).

## **2.10 ОКР «МКА-ФКИ-4»**

Завершен этап по созданию и испытаниям технологических образцов.

## **2.11 ОКР «Луна-глоб» и «Луна-ресурс»**

Продолжались работы по созданию научных приборов (технологические образцы и КДО),

## **2.12 ОКР «Экзомарс-ПП»**

Разрабатывается прибор МЭГРЭ для измерений квазипостоянного и переменного магнитного поля (до 40КГц) на поверхности Марса для посадочной платформы.

## **Звездные датчики**

1. Звездные датчики, комплекс многозональной спутниковой съемки КМСС, сканер береговой зоны СБЗ, комплекс оперативного мониторинга Горизонт для КА Метеор 2.0, 2.1, 2.2, 3.0, Метеор-МП
2. Датчики гида телескопа для проекта Спектр-УФ
3. Звездные датчики, ССОИ для проекта Спектр-РГ
4. Звездные датчики, служебная телевизионная система СТС-Л, лунная стерео телевизионная камера ЛСТК, оптическая система уклонения от препятствий для проектов Луна-Ресурс, Луна-Глоб
5. Звездные датчики, видеокамера для стыковки, автоматическая система оптической навигации для пилотируемых транспортных кораблей (ПТК)
6. Служебная телевизионная система для проекта Экзо-Марс

### **3. Инициативные проекты**

#### **3.1 Способ обнаружения наличия микробной биомассы земного типа на космических телах**

Проведена работа по созданию бортовой научной аппаратуры для выявления биомассы микробных сообществ в природных грунтах. Проведены эксперименты по измерению биомаркеров. В ходе отработки методики к известным биомаркерам Са/К, Р/С были добавлены содержания N и С, на основе чего был проведён трёхмерный многофакторный анализ данных. Также введение дополнительных параметров обеспечило более высокую достоверность определения типа пробы.

Были проведены экспериментальные работы с грунтами, культурами и спорами бактерий. В связи с тем, что наиболее достоверной моделью марсианских грунтов являются грунты полярных областей, с образцами арктических грунтов были проведены отдельные эксперименты по выявлению и экстрагированию микроорганизмов. В этом направлении была разработана методика, позволяющая верно отождествлять культуры бактерий и отличать их от проб другого типа. По результатам этих работ была получен патент на служебное изобретение «Способ обнаружения наличия микробной биомассы земного типа на космических телах», №2586778, дата начала отсчета срока действия патента: 17.03.2015, опубликован: 10.06.2016. Авторы: Манагадзе Г.Г., Воробьева Е.А., Лучников К.А., Сафронова А.А., Чумиков А.Е., Манагадзе Н.Г.

#### **3.2 Лабораторных экспериментов по исследованию физики ударных процессов**

Проведён ряд опытов на метательной установке ЦНИИМАШ, проведена обработка данных лабораторных экспериментов по исследованию физики ударных процессов. В этих опытах, проводимых на метательной установке ЦНИИМАШ, алмазные ударники, ускоренные до 7 км/с воздействовали на мишень из нитрата аммония. Анализ продуктов синтеза показал, что в плазменном факеле удара происходят абиогенные процессы обеспечивающие: синтез протеиновых аминокислот, в частности глицина, аланина и серина; нарушение зеркальной симметрии аланина с избытком L-энантиомеров над D, достигающий величины отношения 2,2. со «знаком» асимметрии, совпадающим с биоорганической; синтез протеиновых полипептидов с массой до 1300 а.е.м, которые могут рассматриваться как предвестники ферментов.