

## 3.2. Проекты в стадии ОКР

### **2.1 «ЭкзоМарс»**

Проект ЭкзоМарс – совместный российско-европейский проект по исследованию Марса. В рамках проекта планируется как выполнение ранее планировавшихся исследований, так и решение принципиально новых научных задач. Важными аспектами проекта являются создание объединенного с ЕКА наземного комплекса приема данных и управления межпланетными миссиями и объединение опыта Роскосмоса и ЕКА при разработке технологий для межпланетных миссий. Проект может рассматриваться как этап подготовки к освоению Марса (разведка районов посадки, поиск подповерхностной воды, мониторинг радиационной обстановки).

ИКИ РАН отвечает за создание и эксплуатацию российской научной аппаратуры, входящей в комплексы научной аппаратуры на борту космических аппаратов проекта ЭкзоМарс, а также за наземный научный комплекс (ННК). В рамках проекта планируется два запуска с помощью российских носителей «Протон» в 2016 и в 2018 годах.

Миссия ЭкзоМарс 2016 года включает в себя разрабатываемые ЕКА орбитальный модуль и демонстрационный десантный модуль. Орбитальный КА TGO (Trace Gas Orbiter) предназначен для изучения малых газовых примесей атмосферы и распределения водяного льда в грунте Марса. ИКИ РАН разрабатывает два прибора для КА TGO: спектрометрический комплекс АЦС и нейтронный спектрометр ФРЕНД. 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. Коллимированный нейтронный детектор ФРЕНД (FRENД – 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.

В настоящий момент идет изготовление макетов НА АЦС и ФРЕНД.

В рамках миссии ЭкзоМарс 2018 года на поверхность Марса с помощью разрабатываемого в России десантного модуля будет доставлен марсоход ЕКА массой около 300 кг. Задачами марсохода являются геологические исследования и поиск следов жизни в подповерхностном слое Марса около места посадки. ИКИ РАН разрабатывает два прибора для установки на марсоход: инфракрасный спектрометр ИСЕМ и нейтронный спектрометр АДРОН-РМ. ИСЕМ (ISEM – Infrared Spectrometer for ExoMars) представляет собой инфракрасный спектрометр, устанавливаемый на мачте марсохода и служащий для минералогического анализа поверхности. АДРОН-РМ используется для регистрации нейтронного альбедо, 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 идет эскизное проектирование приборов ИСЕМ и АДРОН-РМ и согласование интерфейсов с коллегами из ЕКА.

После схода марсохода с посадочной платформы, последняя начнет свою научную миссию как долгоживущая стационарная платформа. Комплекс научной аппаратуры (КНА) массой 50 кг 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;

изучение распространенности воды в подповерхностном слое;

забор образцов с поверхности Марса в месте посадки и их изучение;

исследование взаимодействия атмосферы и поверхности;  
мониторинг радиационной обстановки в месте посадки.

В настоящее время произведен предварительный отбор приборов КНА и начался этап эскизного проектирования. Окончательный отбор полезной нагрузки будет произведен в 2014 году по результатам эскизного проектирования и международного конкурса для включения в КНА дополнительных приборов ЕКА.

Руководитель: д.ф.-м.н, акад. РАН Зеленый Л.М., [iki@cosmos.ru](mailto:iki@cosmos.ru), д. ф.-м. н. Кораблев О.И., [korab@iki.rssi.ru](mailto:korab@iki.rssi.ru) Техн. руководитель: к. ф.-м. н. Родионов Д. С., [rodionov@iki.rssi.ru](mailto:rodionov@iki.rssi.ru)

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

По проекту «Бепи Коломбо» в текущем году продолжалась работа с летными образцами следующих спектрометрических приборов для изучения поверхности и экзосферы Меркурия. Натриевая камера МСАСИ, разрабатываемая в кооперации Японии и России для японского аппарата ММО и ультрафиолетовый спектрометр Фебус, разрабатываемый в кооперации с Францией, России и Японии для европейского аппарата МРО. Запуск КА планируется в 2016 году ракетой Ариан 5 с европейского космодрома в Куру. Планируемое время полета до Меркурия 6 лет.

Руководитель: д. ф.-м. н. Кораблев О.И., [korab@iki.rssi.ru](mailto:korab@iki.rssi.ru), Котцов В.А., [vladkott@mail.ru](mailto:vladkott@mail.ru)

## **2.3 «Ионозонд»**

Разработка прибора ведётся в рамках ОКР «Ионозонд» (ФЦП «Геофизика»). Основной задачей разрабатываемого прибора является мониторинг общего содержания озона (ОСО) в атмосфере Земли, а также других газов, полосы поглощения которых лежат в спектральном диапазоне работы прибора. В 2009 году было принято решение об установке озонметров на все КА проекта «Ионозонд», что позволяет достичь высокой унификации космических аппаратов. Озонometr разрабатывается в двух модификациях: Озонometr-З, установка которого предполагается на КА «Зонд», и Озонometr-ТМ, установка которого предполагается на 4 КА «Ионосфера». Озонometr-З обладает широким диапазоном работы (ближний УФ-, видимый и ближний ИК-диапазоны), что позволяет осуществлять мониторинг многих газов. Озонometr-ТМ является облегчённой модификацией прибора с диапазоном работы 300-500 нм, включающей полосу поглощения озона 300-360 нм (полоса Хаггинса), которая обычно используется для определения ОСО.

В течение 2013-го года продолжалась наземная отработка прибора «Озонometr-ТМ». В частности, обработаны результаты натурных измерений, проведённых в декабре 2012-го года на Кисловодской высокогорной научной станции. Полученные значения общего содержания озона с хорошей точностью совпали со значениями, полученными другими приборами. Проведены новые лабораторные и натурные измерения на базе НИИФ им. В.А.Фока (Петергоф) и в Московском регионе (Щербинка). Усовершенствовано программное обеспечение прибора. Проведены стыковочные испытания технологического образца прибора с технологическим образцом бортового комплекса управления и сбора научной информации. Изготовлены оптико-механические узлы первых двух лётных образцов прибора, а также отдельные детали и узлы для третьего и четвёртого лётных образцов.

По прибору «Озонometr-З» в 2013-м году доработана оптическая схема с целью повышения светосилы прибора; изготовлены натурно-габаритно-массовый макет и технологический образец (электрический макет).

Вместе с тем необходимо отметить, что во 2-й половине 2013 г. работы по ОКР «Ионозонд», в рамках которой осуществляется разработка озонметров, проводились в условиях отсутствия договора с заказчиком (ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»), что серьёзно ограничило возможности разработчиков.

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Кораблев О.И., [korab@iki.rssi.ru](mailto:korab@iki.rssi.ru),  
Технический руководитель: к.ф.-м.н. Доброленский Ю.С. [dobrolenskiy@iki.rssi.ru](mailto:dobrolenskiy@iki.rssi.ru)

*Доброленский Ю.С., Красавцев В.М., Кузнецов А.Ю., Чиков К.Н., Применение внеосевого зеркального парабооида в качестве перспективного входного объектива озонметра. Конгресс «IS&IT'13»; AIS'13; CAD-2013; «Интеллектуальные системы'13»; «Интеллектуальные САПР-2013». Труды конференций, т. 1, стр. 352 – 357. М.: Физматлит, 2013.*

*Dobrolenskiy Y.S., Korablev O.I., Ionov D.V., Vyazovetskiy N.A., Tchikov K.N., Krasavtsev V.M., Moiseev P.P., Belyaev D.A., Fedorova A.A., Mantsevich S.N., Zhirnova Y.E., Rumyantsev D.M., Kananykhin I.V., Viktorov A.I., Shatalov A.E., Zherebtsov E.A, Kozyura A.V., Moryakin S.A., Spectrometer for monitoring of atmospheric ozone (ozonometer). EGU General Assembly 2013, Geophysical Research Abstracts, v.15, EGU2013-3500-1.*

*Dobrolenskiy Y.S., Korablev O.I., Ionov D.V., Vyazovetskiy N.A., Tchikov K.N., Krasavtsev V.M., Savushkin A.V., Moiseev P.P., Fedorova A.A., Belyaev D.A., Mantsevich S.N., Rumyantsev D.M., Kananykhin I.V., Viktorov A.I., Shatalov A.E., Zherebtsov E.A., Kozyura A.V., Moryakin S.A., Spectrometer for monitoring of atmospheric ozone (ozonometer). International Symposium “Atmospheric Radiation and Dynamics” (ISARD-2013). Proceedings, pp. 115-116.*

*Доброленский Ю.С., Кораблёв О.И., Ионов Д.В., Фёдорова А.А., Беляев Д.А., Вязовецкий Н.А., Манцевич С.Н., Чиков К.Н., Красавцев В.М., Савушкин А.В., Румянцев Д.М., Кананыхин И.В., Моисеев П.П., Викторов А.И., Шаталов А.Е., Жеребцов Е.А., Козюра А.В., Морякин С.А., Спектрометр для мониторинга атмосферного озона (озонметр). 11-я Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, 2013 г. Тезисы докладов, стр. 132 (издано на диске).*

## **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 2013 году велись работы в соответствии с Техническим заданием и планом-графиком работ.

Также проведены исследования, позволяющие обеспечить стабильность температуры перспективных детекторов, использующихся в космических телескопах и, тем самым, повысить их спектрометрические характеристики. С этой целью было проведено моделирование характеристик охлаждающей системы, сочетающей элемент Пельтье с радиатором-излучателем. Несмотря на достаточно широкое использование

элементов Пельтье характеристики такой системы не исследованы, поскольку в наземных условиях такое сочетание не встречается. Необходимость изучения параметров такого комбинированного охладителя возникла потому, что подобные системы будут использованы для термостабилизации детекторов в перспективном космическом телескопе ART-XC, который входит в состав российско-немецкой обсерватории «Спектр-РГ» и в мониторе СПИН-Х1-МВН, который будет установлен на МКС.

Моделирование показало, что охладитель, состоящий из элемента Пельтье и радиатора-излучателя, обладает рядом необычных свойств из-за возникновения сложной обратной связи между ними.

Опубликовано: Семена Н.П. Особенности использования термоэлектрических преобразователей в системах терморегулирования космического применения Теплофизика и аэромеханика, 2013, том 20, № 2

### **Проект МВН**

Монитор Всего Неба – эксперимент по измерению рентгеновского фона в жестком рентгеновском диапазоне. Эксперимент будет установлен на Российский сегмент МКС. В 2013 году велись работы в соответствии с Техническим заданием и планом-графиком работ. Была создана КДИ-модель эксперимента.

### **ОКР «Резонанс»**

В 2013 г продолжались работы по созданию научных приборов (технологические образцы и КДО).

### **ОКР «Ионозонд»**

В 2013 г продолжались работы по созданию научных приборов (технологические образцы и КДО).

### **ОКР «Луна-Глоб» и «Луна-РесурсС»**

В 2013 г продолжались работы по созданию научных приборов (технологические образцы и КДО).

### **ОКР «Арктика –М»**

В рамках ОКР разрабатывается феррозондовый магнитометр ФМ-ВЭ для измерения квазипостоянного магнитного поля на космическом аппарате «Арктика-М», предполагаемого к запуску в 2015г.

В 2013 г. разработано и согласовано техническое задание на прибор ФМ-ВЭ.

### **ОКР «МКА-ФКИ-4 СТРАННИК»**

В рамках ОКР выпущен эскизный проект на комплекс научной аппаратуры, технические задания на приборы.

### **ОКР «Экзомарс-ПП»**

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

В 2013г. разработаны:

- ЭП на прибор;
- технического задания (проект) на прибор.

**СЧ ОКР «НЧА-РЧА».** Разработка и изготовление комплекса научной аппаратуры НЧА-РЧА в составе КНА «РЭЛЕК».

В 2013г. в НПО им. Лавочкина проведен входной контроль лётного образца комплекса НЧА-РЧА.

### **Проект МСП-2001**

В рамках ОКР по теме МСП-2001 Федерального космического агентства ведутся опытно-конструкторские разработки аппаратуры для экспериментов:

проект «Меркурианский нейтронный и гамма спектрометр» (МГНС) для орбитального КА ЕКА «Бепи Колombo» (БК, срок запуска – II-е полугодие 2014 года).

прибор МГНС. Все работы выполнены в соответствии с Техническим заданием на ОКР по теме.

Руководитель проекта:

Д.ф.м.н. Митрофанов И.Г. тел.: (495) 333-3489, [imitrofa@space.ru](mailto:imitrofa@space.ru)

### **ПРОЕКТЫ В СТАДИИ НИР**

#### **НИР «Венера-Система»**

Работа по НИР «Венера-Система» выполнена с соисполнителями: ИПМ РАН, ФИРЭ РАН и ГЕОХИ РАН.

В результате выполнения данного этапа НИР получены результаты, изложенные ниже.

- Произведено уточнение проектного облика комплекса «Венера-Д» и требований к элементам миссии с возможным привлечением международного сотрудничества также сравнение программ миссии Венера-Д с миссиями НАСА и определены возможные направления международного сотрудничества;
- произведено уточнение научных задач экспериментов; показана необходимость согласованной работы комплекса для выполнения научных задач и уточнен состав комплекса научной аппаратуры;
- обоснованы траектории перелета и вариантов орбитально-десантной схемы;
- изготовлены и испытаны лабораторные макеты датчика для прибора БСМВ-В - мониторинга солнечного ветра и узла электрических соединений с приборами, находящимися внутри камеры высокого давления;
- произведена детальная проработка одного из ключевых экспериментов на ПА–ИСКРА-В;
- предложен комплекс аппаратуры долгоживущей станции и оценена возможность передачи собранной информации на ОА;
- оценены распределения уклонов на местности разного типа на Венере для безопасной посадки ПА;
- произведена оценка новых данных для усовершенствования инженерной модели Венеры.

Основными элементами проекта Венера-Д являются орбитальный аппарат, посадочный аппарат, спутник и долгоживущая станция на поверхности. Ранее изучался вариант миссии, состоящий из ОА, ПА и двух АЗ, плавающих на высоте 55 и 48 км и сбрасывающих мини-зонды по пути следования. (Аэростатные зонды, рассматриваемые ранее, отложены, но окончательно не исключены, поэтому они упоминаются в настоящем отчете). Основной режим работы орбитера – суточная полярная орбита (период 24 часа), предполагается посадка ПА на тессеру – наиболее древние участки поверхности.

Произведено уточнение комплекса научной аппаратуры на элементах миссии. Характеристики научных приборов приведены в таблицах в Разделе 2. Уточнена характеристика ТRL. Со времени создания КНА (2009 -2010 гг.) уровень технологической готовности изменился: некоторые приборы были установлены на борту Фобос-Грунт,

изготавливаются для проекта ЭкзоМарс, работают на «Спектр-Р» и на ровере MSL NASA. Большинство приборов имеют высокий уровень TRL = 6-7 - 8.

К новым экспериментам относится гетеродинный спектрометр, предложенный на ОА, который позволяет получить беспрецедентно высокое спектральное разрешение  $\lambda/d\lambda = 10^8$ , что дает возможность получать поля температуры и скорости ветра, вертикальные профили ряда малых составляющих на высотах 80-160 км в атмосфере Венеры на основе прямых измерений контуров вращательных линий.

Проведен баллистический анализ траекторий перелета, а также возможных схем маневрирования КА на орбитах вокруг Венеры, обеспечивающих выведение субспутника на орбиту ИСВ и спуск ПА с орбиты ИСВ для дат запуска в интервале 2020-2025 г. До сих пор в проектах Венера-ВЕГА использовалась посадка без перехода на промежуточную орбиту, т.е. за двое суток до подлета к Венере отделялся спускаемый аппарат, по баллистической траектории входил в атмосферу Венеры и совершал посадку.

На данном этапе НИР впервые были рассчитаны схемы маневрирования аппарата при подлете к Венере, отделение субспутника, а после отделения -- переход аппарата на промежуточную полярную круговую орбиту. Рассчитаны параметры круговых орбит, условия взаимной видимости ОА и СС, а также Земли. Проработаны рекомендации по выбору орбитально-десантной схемы, проведен анализ долготной достижимости для различных окон старта.

Продолжена детальная проработка эксперимента «ИСКРА-В». Это один из ключевых экспериментов на посадочном аппарате, предназначенный для измерения отношений летучих элементов и их изотопов (таких как  $N^{15}/N^{14}$ ,  $HDO/H^2O$ ,  $S^{31}/S^{32}/S^{34}$ ,  $O^{17}/O^{16}/O^{18}$  и др.). Эти измерения необходимы для понимания происхождения и эволюции атмосферы Венеры, а следовательно и проблемы воды. Требуемая точность измерений должна быть лучше 1%. Настраиваемый лазерный спектрометр «ИСКРА-В», который позволяет измерять спектры в нескольких узких спектральных интервалах, соответствующих длинам волн имеющихся лазеров, но с высоким спектральным разрешением  $10^7$ , способен решить эту задачу. Для этого необходимо выбрать спектральные интервалы, оптимальные для измерений и содержащие соответствующие линии молекул. Это чрезвычайно трудоемкие полинейные точные расчеты молекулярных спектров для модели атмосферы Венеры. Так как прибор работает на спуске в атмосфере и после посадки на поверхности, при этом внешнее давление изменяется от 100 мбар до 100 000 мбар, то необходимо обеспечить не только забор газовых проб, но и разрежение проб до 50-100 мбар, а также освободить кювету после измерений. В отчете детально рассмотрен цикл измерений (т.е. заполнение кюветы – измерение – откачка кюветы) и показана достижимость длительности цикла измерений в пределах 3-5 мин.

Усовершенствован список молекул с учетом появившихся новых лазеров и новых кювет, которые существенно расширяют возможности. Новые кюветы позволяют увеличить эффективный оптический путь до 2 км, что необходимо для измерения слабых линий.

Разработана конструкция, изготовлен и испытан вариант лабораторного макета узла электрических соединений с научными приборами, находящимися в камере высокого давления, дано описание результатов измерения физических характеристик макета.

Отмечены проблемы, которые необходимо решить и пути усовершенствования узла. Проработанное на предыдущем этапе НИР ТЗ на изготовление КВД было согласовано и подписано с представителями фирмы изготовителя.

Разработана конструкция, изготовлен и испытан лабораторный макет датчика для прибора БМСВ-В. Прототипом прибора БМСВ-В, предназначенного для изучения потоков плазмы в солнечном ветре и внутри магнитосферы Венеры на борту КА "Венера-Д", является плазменный спектрометр БМСВ, который успешно работает в составе КНА высокоапогейного спутника "Спектр-Р". С учетом полученного опыта было решено модернизировать как сам прибор, так и его датчики в направлении большей гибкости

алгоритма функционирования, возможности одновременного осуществления нескольких режимов измерений.

Важным результатом этапа НИР является предварительное формирование КНА на долгоживущей (24 часа) на поверхности станции (время жизни увеличено более, чем в 10 раз по сравнению с ПА Венера-ВЕГА). Для изучения пограничного слоя, атмосферы, поверхности, взаимодействия атмосферы и поверхности, внутреннего строения и внутренней динамики планеты предполагается установить следующие эксперименты: метеоконкомплекс, панорамная камера, фотометр, масс-спектрометр, сейсмический комплекс, волновой комплекс. Предварительная циклограмма работы приборов составлена так, что энерговыделение комплекса находится в пределах 3 Вт., а объем информации составляет около 12 Мб (за 24 часа). Этот объем информации может быть передан на орбитальный аппарат.

Продолжено изучение возможных мест посадки с точки зрения опасности опрокидывания посадочного аппарата. Для этого: а) определено частотное распределение уклонов на базах 1-3 метра в пределах земных аналогов, моделирующих тессерную и равнинную местности Венеры, б) даны оценки вероятности существования уклонов, опасных для опрокидывания посадочного аппарата типа „ВЕГА“, в) дана оценка потенциальной опасности тессеры и равнины для посадки посадочного аппарата типа „ВЕГА“. Даны рекомендации по безопасности посадки на поверхность Венеры с учетом научных приоритетов. Учитывая, что наиболее интересной с точки зрения изучения эволюции Венеры и обнаружения следов возможно существовавшего в прошлом океана, является посадка на тессеру, был дополнительно проведен анализ уклонов, опасных для опрокидывания аппарата. Считался критическим уклон с углом 30°. Оказалось, что вероятность сесть на такой уклон на тессере составляет 70-80%. Аппарат Венер 9 сел на уклон 30° и не опрокинулся. Вероятность встречи более пологих (менее 30°) уклонов на склонах тессерных гряд варьируется примерно от 20 до 95% в зависимости от наличия или отсутствия коротковолновой составляющей рельефа. Таким образом, необходимо либо перед посадкой с орбиты искать безопасные области на тессере, либо делать посадочную конструкцию, позволяющую садиться в сильно пересеченной местности. Следует отметить, что все предыдущие посадки ПА Венера-ВЕГА были совершены в равнинной местности, показав приблизительно одинаковое базальтовое строение поверхности не старше 1 млрд. лет.

Изучены возможности модернизации приемника двух когерентных сигналов, разработанного для регистрации вариаций параметров сигналов навигационной системы ГЛОНАСС для применения в проекте ВЕНЕРА-Д. Представлены характеристики прототипа и результаты его апробации в эксперименте. Определены требования к приемнику в экспериментах двухчастотного радиопросвечивания ионосферы и атмосферы Венеры в проекте ВЕНЕРА-Д. Показано, что необходим одновременный прием на двух ортогональных поляризациях трех когерентных сигналов в режиме независимого слежения за фазой каждого сигнала. Динамический диапазон приемника должен обеспечивать возможность измерения параметров сигналов при кратковременном увеличении его амплитуды в 4 раза и при ослаблении сигналов на 40 дБ, требуемая полоса анализа сигналов -- 1.4 кГц. Выполнено сравнение этих требований с характеристиками используемых бортовых приемников. Установка универсального, многофункционального приемника на борту ОА и СС в проекте ВЕНЕРА-Д значительно увеличит объем информации за счет использования радиолиний с высоким потенциалом Земля→ОА, Земля→СС и ОА→СС. Кроме того, появится возможность получения недоступной ранее информации об ионосфере и атмосфере Венеры, необходимой для выявления аномальных свойств газовой оболочки Венеры, в том числе и в приповерхностном малоисследованном слое.

Инженерная модель атмосферы Венеры была создана В. Кержановичем, М. Маровым, В. Морозом (Препринт ИКИ, 1982г.). В дальнейшем инженерная модель

получила развитие как Венерианская Международная Референтная Атмосфера (VIRA), созданная в рамках КОСПАР и опубликованная в журнале *Advances in Space Research*, 1985, V5, N11, 1985, под редакцией А. Kliore, V. Moroz, G. Keating. Эта модель построена на основе анализа данных, полученных в результате наземных и космических экспериментов до 1982-1983 года. В работе суммированы данные, полученные после 1982 года, которые будут использованы для построения новой инженерной модели атмосферы Венеры.

Проект Венера-Д является международной миссией, так как большая часть экспериментов выполняется с иностранным участием. Интерес к более глубокому участию в проекте, на уровне элементов миссии проявляет КНР. Этот вопрос обсуждался во время совещания Рабочей группы в сентябре 2013 в Москве. С китайской стороны поступили различные варианты возможного участия: от отдельных приборов, элементов миссии до запуска. Более глубокое обсуждение показало, что проработки с китайской стороны находятся на нулевом уровне и, по обоюдному согласию, было решено пока не заключать соглашения, а продолжить проработку вопроса.

Было произведено сравнение программы проекта «Венера-Д» с программами проектов НАСА *Surface and Atmospheric Geochemical Explorer*, *SAGE*, в рамках *New Frontiers* («Новые горизонты»), и *Flagship* («Флагманские миссии») *Venus Intrepid Tessera Lander*, *VITaL*, *Venus Flagship Design Reference Mission*, *VFDRM* (2020-2025 г), а также с климатической Флагманской миссией *VenusClimateMission* (*VCM*), рекомендованной *Planetary Science Decadal Survey 2013-2022г*, с запуском 02.11.2021 г. Проект «Венера-Д» по классификации НАСА относится к классу «Флагманских миссий», научные задачи Венера-Д и сложность состава аппаратов сравнима с большой Флагманской миссией НАСА *VFDRM*. Из-за финансовых трудностей НАСА миссия *VFDRM* была отложена, однако малая флагманская миссия *VCM* включена в программу НАСА на десятилетие 2013-2022. Пока миссия не финансируется. Миссия *VCM* была бы прекрасным дополнением к проекту Венера-Д во второй версии (ОА, ПА, СС, ДС), и совместный запуск (в 2021 году) и скоординированная работа двух Флагманских миссий по значению превзошла бы даже большую Флагманскую миссию *VFDRM*. Таким образом, назначение запуска миссии Венера-Д на 2021 год в ФКП (2016-2025) и открытие ОКР в ближайшие годы является чрезвычайно важным.

Научный руководитель: д. ф.-м. н. Засова Л.В., [Zasova@iki.rssi.ru](mailto:Zasova@iki.rssi.ru)

*L.Zasova. Study of Venus by space missions: from Venera-4 to Venera-D, The Fourth Moscow Solar System Symposium, Москва, ИКИРАН, 14-18 октября 2013 г., 4MS3-SS-03, Abstract book, p. 76.*

*M.A. Ivanov1, A.T. Basilevsky1, J.W. Head2, L.V. Zasova3, and E.N. Guseva1, Selection of landing sites for the Venera-D mission. The Fourth Moscow Solar System Symposium, Москва, ИКИРАН, 14-18 октября 2013 г., 4MS3-VN-15. , Abstract book, p. 119*

#### **НИР «Лаплас»**

В 2013 году выполнялся НИР «Лаплас-П». «Проработка проектного облика научной аппаратуры для посадочного аппарата проекта «Лаплас» и определение ее предварительных характеристик с учетом уточненных научных задач миссии и факторов воздействия на аппаратуру внешней среды спутника Юпитера Ганимед». Отчет представлен в ЦНИИМАШ.

В отчете представлены научные задачи для посадочного аппарата спутника Юпитера Ганимед в проекте «Лаплас-П», сделана проработка проектного облика приборов научной аппаратуры, предлагаемых ИКИ РАН для посадочного аппарата проекта «Лаплас», приведены описания и основные предварительные технические характеристики приборов. Произведена оценка сейсмической активности Ганимеда и определение научных задач исследований внутреннего строения Ганимеда. Показана важность сейсмических



экспериментов на поверхности Ганимеда для этих исследований. Построена пробная сейсмическая модель Ганимеда, и рассчитан спектр его собственных колебаний. Проведена проработка проектных параметров и определение предварительных технических характеристик сейсмической аппаратуры посадочного аппарата миссии «Лаплас-П», адекватных решаемым научным задачам.

Разработаны предложения по адаптационным схемам управления КА в системе Юпитера с учетом обеспечения условий функционирования научной аппаратуры посадочного аппарата миссии «Лаплас-П». Построен каталог вариативных схем сближения с Ганимедом с использованием гравитационных маневров и сформирован на его основе масштабный диапазон воздействия внешней среды на аппаратуру посадочного аппарата миссии «Лаплас-П». Уточнены предварительные условия работы научной аппаратуры на базе полученного каталога вариативных схем. Проведена адаптация каталога схем сближения с Ганимедом в целях обеспечения условий функционирования работы научной аппаратуры посадочного аппарата и построения оптимальных режимов управления КА.

Проведено сопоставление параметров полей заряженных частиц в окрестностях Ганимеда и Европы. Произведена предварительная оценка влияния радиации на радиоэлектронную аппаратуру посадочного аппарата миссии «Лаплас-П». Разработаны предложения по аппаратуре дозиметрического и радиометрического мониторинга.

Проведен анализ региональной геологической ситуации для предварительного выбора областей мест посадки посадочного аппарата миссии «Лаплас-П» на поверхность Ганимеда. Проанализированы фотоизображения высокого разрешения для предварительного выбора участков, представляющих наименьшую опасность и наибольший научный приоритет для посадочного аппарата проекта «Лаплас-П» в пределах темной и грядово-бороздчатой местности. Даны предварительные рекомендации по выбору областей мест посадки посадочного аппарата проекта «Лаплас-П» на поверхность Ганимеда.

Проведена предварительная оценка требуемой координатно-навигационной информации для обеспечения выбора мест посадок посадочного аппарата миссии «Лаплас-П». Проведен сравнительный анализ существующей координатно-картографической базы на спутники Юпитера: Ганимед, Европу и Каллисто. Дана оценка абсолютной и относительной точности координатного обеспечения для формирования опорной сети на поверхности Ганимеда. Создана предварительная картосхема по результатам анализа космических изображений поверхности Ганимеда для характеристики возможных мест посадки посадочного аппарата миссии «Лаплас-П».

Наименование результатов выполнения этапов работ (результаты научно-технической деятельности - РНТД):

- научные задачи для посадочного аппарата спутника Юпитера Ганимед в проекте «Лаплас-П»;
- оценка сейсмической активности Ганимеда;
- пробная сейсмическая модель Ганимеда, и расчет спектра его собственных колебаний;
- перечень приборов, предлагаемых для проведения научных исследований посадочным аппаратом миссии «Лаплас-П» на Ганимеде, с их описанием, предварительными техническими характеристиками и набором измеряемых параметров;
- адаптационные схемы управления КА в системе Юпитера с учетом обеспечения условий функционирования научной аппаратуры посадочного аппарата миссии «Лаплас-П»;
- адаптивные алгоритмы проведения гравитационных маневров КА в системе Юпитера;
- сценарии прохождения объектов системы Юпитера, адаптированные ко времени

прибытия КА в систему Юпитера, к продолжительности миссии «Лаплас-П» и к изменению масштабов предельно допустимой дозы радиации, поглощаемой научной аппаратурой посадочного аппарата миссии «Лаплас-П»;

- предварительные оценки эффектов воздействия потоков энергичных заряженных частиц на радиоэлектронную аппаратуру КА миссии «Лаплас-П»;
- требования к радиационной стойкости изделий электроники на борту КА «Лаплас-П»;
- анализ задач, стоящих при разработке приборов для дозиметрического мониторинга и измерения полей заряженных частиц в ходе миссии «Лаплас-П» к Юпитеру;
- анализ региональной геологической ситуации для предварительного выбора областей мест посадки посадочного аппарата миссии «Лаплас-П» на поверхность Ганимеда;
- предварительный выбор участков, представляющих наименьшую опасность и наибольший научный приоритет для посадочного аппарата проекта «Лаплас» в пределах темной и грядово-бороздчатой местности Ганимеда;
- предварительные рекомендации по выбору областей мест посадки посадочного аппарата проекта «Лаплас-П» на поверхность Ганимеда;
- оценка разрешающей способности космических изображений для обеспечения успешной посадки посадочного аппарата;
- анализ и выбор участков поверхности Ганимеда для детального изучения при планировании мягкой посадки посадочного аппарата «Лаплас-П»;
- предварительная оценка достижимой абсолютной и относительной точности опорной сети, необходимой для координатного обоснования при выборе наиболее перспективных в научном и научно-техническом отношении мест посадок;
- уточнение требований к навигационному обеспечению миссии «Лаплас-П».

Руководитель: д.ф.-м.н, акад. РАН Зеленый Л.М., [iki@cosmos.ru](mailto:iki@cosmos.ru), д.ф.-м.н. Кораблев О.И., [korab@iki.rssi.ru](mailto:korab@iki.rssi.ru), Ответственный за НИР: к.ф.-м.н. Марченков К.И.

### **НИР «Звездный Патруль»**

Проработка научных задач отечественного эксперимента поиска экзопланет земного типа в части проработки научных задач и предварительного проектного облика космического телескопа «Звездный патруль». Проработка приборного состава и научно-техническое обоснование основных характеристик научной аппаратуры орбитальной обсерватории «Звездный патруль»

1. Орбитальная обсерватория «Звездный патруль» – это долгоживущий КА на гелиостационарной орбите или в либрационной точке системы двух тел Солнце-Земля (L2) со стабилизированной платформой для размещения НА: оптического телескопа метрового класса (диаметр главного зеркала 1,5 м) с дифракционным разрешением не хуже 0.1 секунды дуги в оптическом диапазоне видимого и ближнего ИК с фотометрическими, спектральными и поляриметрическими инструментами.

2. Уточнены цели наблюдения для коронографа по наблюдению известных экзопланет. Проанализировано необходимое отношение сигнал-шум для спектрально широких, фактически, цветовых (со спектральным разрешением  $R=5$  и выше) фотометрических измерений альbedo планет. Наибольшая научная значимость исследований на подобных космических обсерваториях – это анализ атмосфер экзопланет для исследования биомаркеров. Даже, если критерий цвета не является достаточным, то дополнительная информация о металличности и орбите экзопланеты уточнит и охарактеризует экзопланету по принадлежности к известному типу по совокупному признаку.

3. Определение предварительной научной программы космического телескопа и требований к телескопу и научной аппаратуре для ее осуществления, а также проработка предварительных научно-технических предложений по оптической схеме телескопа и составу навесного оборудования. Наблюдательные задачи отнесены к одному из трех

классов наблюдений – спектральные, фотометрические и поляриметрические, которые, сочетаются друг с другом в комплексных смешанных измерениях.

4. Составлен обзор по современным методам исследования экзопланет, сформулированы основные научные результаты и предложения по дополнению научных задач для планируемой космической обсерватории «Звездный патруль» в части фотометрии и спектрального исследования известных транзитов.

Руководитель: д. т. н. А. В. Тавров, [tavrov@iki.rssi.ru](mailto:tavrov@iki.rssi.ru)

*Отчет по НИР «Звездный Патруль». Номер государственной регистрации: У93356.*

*Договор от 13.02.2013 № 1470/ (203-1205-2012)-1322/ 39-2013.*

*Интернет сайт «Звездный Патруль».*

**НИР «Миссия Апофис»** Результатом настоящей НИР служат уточненная программа проведения миссии посещения астероида, варианты выполнения научной программы, комплектации приборного состава научной аппаратуры, а также методические основы радикального уточнения прогнозирования развития событий после пролета Апофиса мимо Земли в 2029 году.

Договор от 13.02.2013 № 1470// (203-1205-2012)-1322/ 39-2013 между ФГУП ЦНИИмаш и ИКИ РАН

Продолжались работы по НИР «Рой» и «ПС-2» - разработка предложений по перспективным проектам в области физики космической плазмы.

#### **Предпроектные работы**

Продолжены работы по подготовке эксперимента Авровизор-ВИС/МП (совместно с ЦАО Росгидромет) на КА Метеор-МП.

Подготовлен аванпроект (совместно с «Геофизика-Космос») ОКР «Создание перспективного оптического комплекса Авровизор-ВУФ в составе группировок высоко- и низкоапогейных КА для мониторинга и контроля состояния ионосферы Земли».

#### **Рентгеновский микрофон**

«Определение предварительного проектного облика КНА «Рентгеновский микрофон».

В процессе выполнения научно-исследовательской работы в 2013 г. были выполнены следующие работы:

Проведена проработка методических вопросов проведения научно-технологического эксперимента на МКС, в том числе:

- Разработаны схемотехнические решения по обеспечению заданного температурного режима планарных детекторов большой площади.

- Оценены требуемые характеристики системы управления КНА.

- Разработан облик ННК КЭ и определены основные параметры информационного тракта КНА – ННК.

Проведена оценка реализуемости основных технических решений.

Проведено сравнение установки таймингового эксперимента на специализированном КА и на пилотируемом КК (МКС).

## **4. ИНИЦИАТИВНЫЕ ПРОЕКТЫ**

### **4.1 Внебюджетная тематика «Астер»**

Проект включает создание малого аппарата для полета к тройному астероиду. Задача эксперимента комплексная. Предполагается провести исследования астероидов комплексом дистанционных приборов (спектрометрические, фотометрические зондирующие и т.д.). Цель – исследование состава и внутренней структуры астероидов.

Научный руководитель эксперимента: к.ф.-м.н. Липатов А.Н., [slip@iki.rssi.ru](mailto:slip@iki.rssi.ru)

### **4.2 Плазма-Э**

Эксперимент АМИПО для МКС. Работа находится в стадии ОКР. Эскизный проект завершен. Задача эксперимента – исследование процессов взаимодействия плазмы с МКС и влияние их на работу систем станции. Работа находится в стадии ОКР.

Научный руководитель эксперимента: к.ф.-м.н. Липатов А.Н., [slip@iki.rssi.ru](mailto:slip@iki.rssi.ru)

#### **4.3 Плазма-ИКИ**

Создание лабораторного макета для проведения наземных испытаний с целью определения граничных условий измерений для бортовых приборов. Работа находится в стадии НИР. Испытания будут закончены в этом году.

Научный руководитель эксперимента: к.ф.-м.н. Липатов А.Н., [slip@iki.rssi.ru](mailto:slip@iki.rssi.ru)

#### **4.4 Исследование устойчивости критериев жизнеспособности земных микроорганизмов и динамики биомаркеров в условиях, моделирующих марсианский грунт и лед (устойчивость к экстремальному воздействию температуры, радиации, окислителей в условиях низкого давления)**

Результаты:

1. Экспериментальное доказательство возможности появления влажных слоев в реголите Марса вследствие сублимации льда при температурных флуктуациях и активизации метаболизма потенциальной биомассы в этих слоях.

2. Установление факта сохранения высокой численности, биоразнообразия и возможности репродукции микроорганизмов в естественных аналогах марсианского грунта: экстремальных земных экотопах – ксерофитных аридных почвах и мерзлых осадочных породах, при облучении ионизирующей радиацией дозой до 100 kGy в условиях, приближенных к параметрам реголита Марса: вакуум 1 torr, температура - 50°C, присутствие перхлората. Полученный результат позволяет обоснованно пролонгировать представления о потенциально жизнеспособном реголите Марса, по меньшей мере, до 500 тыс. лет, с учетом времени набора дозы, а также подтвердить возможность сохранения жизнеспособности клеток в составе метеоритов не менее 20-50 тыс. лет;

Низкое атмосферное давление на Марсе и отсутствие достаточного количества жидкой воды считаются основными препятствиями для существования потенциальной биосферы на планете. Однако результаты наблюдений КА Mars Odyssey доказали присутствие большого количества вечной мерзлоты под поверхностью Марса. При нагреве поверхности солнечным излучением лед начинает сублимировать, и водяные пары диффундируют сквозь верхний слой реголита. Для моделирования была разработана экспериментальная установка на основе климатической вакуумной камеры, позволяющей в течение экспериментального цикла поддерживать образец мерзлого песка, содержащего культуру бактерии и питательный субстрат, в условиях низкого атмосферного давления и температуры, а также моделировать суточные колебания температуры с характерной для Марса амплитудой. При сублимации льда и диффузии водяного пара сквозь слой песка вследствие нагрева его поверхности до положительных температур в песке появляется пленочная жидкая вода. Образуется слой с повышенным содержанием влаги (до 30%). Такого количества воды может быть достаточно для поддержания метаболизма микроорганизмов. Эксперимент был проведен с чистой культурой бактерии *Vibrio* sp., получен положительный результат. Прирост популяции отмечен только во «влажном» слое грунта.

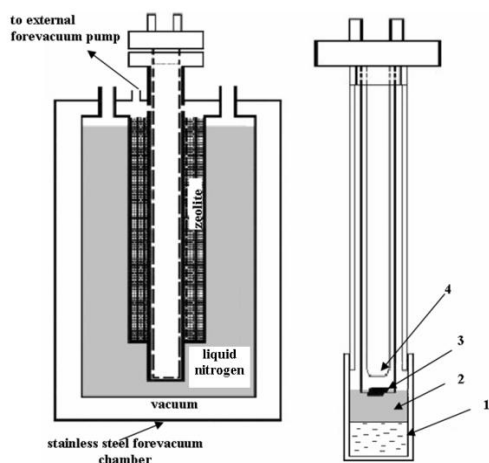


Рис. 5. Вакуумная камера: 1 – лед; 2 – песок; 3 – термопарный датчик температуры; 4 – нагреватель;

В нашем эксперименте вакуумная камера была использована для инициации процесса сублимации льда с последующей диффузией через естественный образец мерзлой осадочной породы Антарктиды (место отбора – Dry Valleys, Beacon Valley; глубина отбора керна – 1.5 м, возраст мерзлоты около 10 тыс. лет). Образец породы был предварительно высушен до воздушно-сухого состояния. Моделирование температурного цикла на поверхности Марса и сублимации льда также проводилось в течение трех суток. В результате отмечено увеличение влажности образца от 1,5% до 7,5%. Численность способных к активной репродукции бактерий (КОЕ/г, среды для анализа – ГПД, R2A) в образце снизилось на 2 порядка, что свидетельствовало о перестройке микробного сообщества вследствие воздействия вакуума и флуктуаций температуры и отличало его реакцию от реакции чистой культуры *Vibrio sp.* (Рис.2). Времени эксперимента оказалось недостаточно для протекания адаптивной сукцессии в микробном сообществе и формирования гомеостаза системы на новом уровне.

О нестабильности микробной системы свидетельствует и проведенный нами мультисубстратный анализ (Рис.3). Последний, однако, показал интенсивную активизацию метаболической активности микроорганизмов. В первую очередь, резко возросло потребление углеводов, спиртов и аминокислот (Рис.4). Удельная метаболическая работа в увлажненном образце была наибольшей (Рис.5). Увеличилось количество потребляемых субстратов (Рис. 6), существенно возрос индекс витальности микробной системы (Рис. 7). Интересно заметить, что и в сухом контрольном образце, подвергнувшись в вакууме флуктуациям температуры, отмечается метаболический отклик и повышается индекс витальности, обнаруживая скрытые реакции микроорганизмов и их готовность отвечать на сигналы внешней среды.

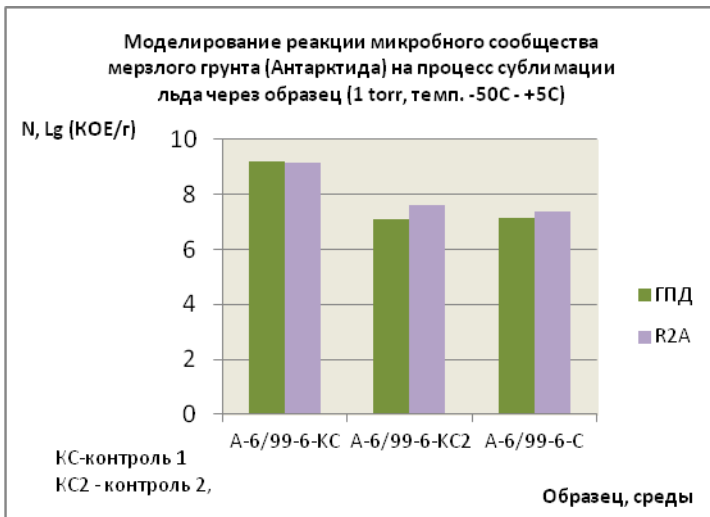


Рис. 2

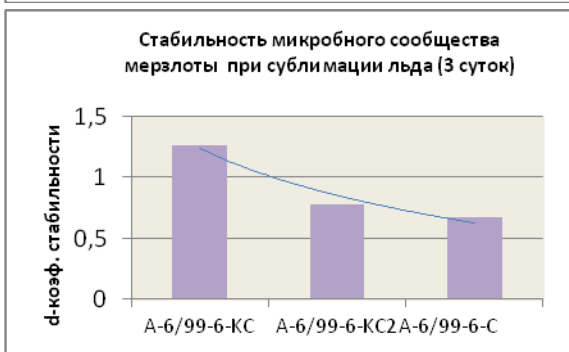


Рис. 3

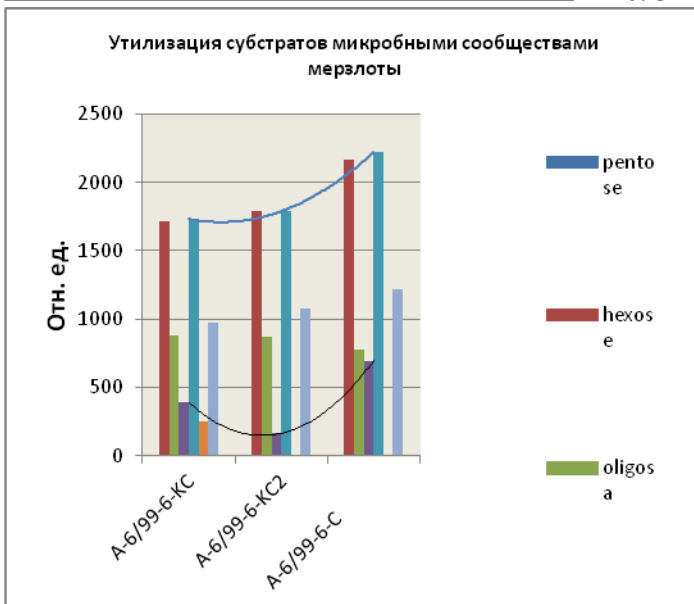


Рис.4

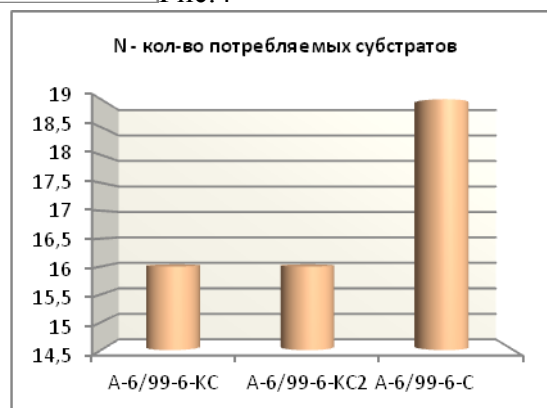
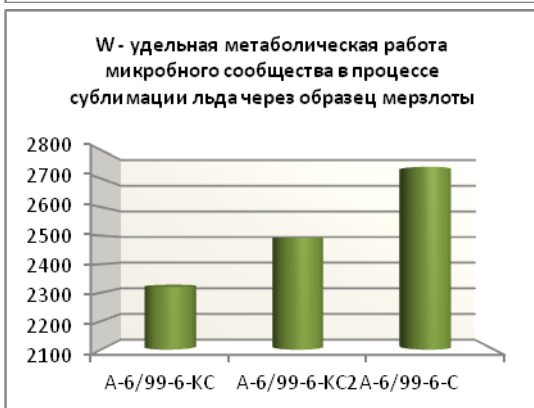


Рис.5

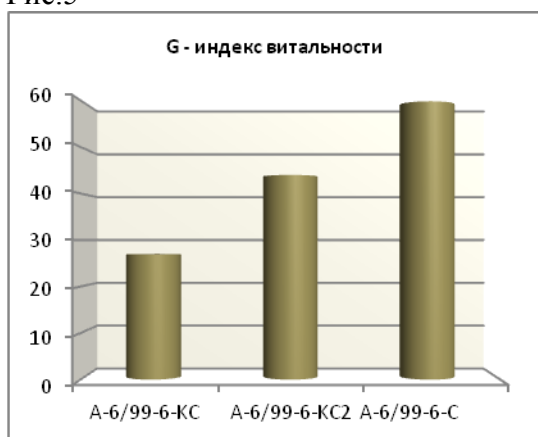


Рис.6

Рис.7

Таким образом, эксперимент наглядно продемонстрировал возможность возникновения в грунте (в вакууме, при доминирующих отрицательных температурах) градиентов влажности вследствие сублимации льда и немедленную метаболическую активизацию микробных сообществ *in situ*. Доказана возможность фиксации адаптивных реакций микроорганизмов в условиях, приближенных к инопланетной среде (Марс), что благоприятно с точки зрения выбора перспективных спектров методических подходов для обнаружения биомаркеров.

Другой задачей текущего года было продолжить начатое ранее (см. отчет 2012 г.) исследование по воздействию возрастающих доз радиации на микробные экосистемы *in situ* в модельных условиях Марса с целью оценки эволюционной значимости фактора для потенциальной биосферы Марса.

Получены показатели биологического отклика нативных микробных сообществ на воздействие доз 40 kGy и 100 kGy в условиях вакуума (1torr), при низкой температуре, при высоком содержании перхлората в исследуемом грунте. Эксперименты проводили (Рис.8.) на 2 образцах аридных почв (пустыня Негев, Израиль; горная пустыня, Атлас, Марокко). Рис.9 позволяет провести сравнительный анализ показателей общего содержания клеток в образцах и вариантах обработки. Хотя разница между показателями очень незначительна (во всех случаях общее содержание бактерий около  $10^8$  кл/г), видны очевидные тенденции по воздействию факторов. Доза 40 kGy не отразилась на общей численности клеток, имеющих нативную ДНК (флуоресцирующих). Доза 100 kGy вызывала небольшой ингибирующий эффект и в аридной почве, и в мерзлоте (например, для аридной почвы показатель изменился от  $1,42 \cdot 10^8$  до  $1,07 \cdot 10^8$  кл/г). Перхлорат также проявлялся как неблагоприятный фактор, причем, несмотря на высокую дозу радиации (40 kGy), этот фактор доминировал, т.е. именно присутствие перхлората во всех случаях вызывало неблагоприятную тенденцию в реакции микробных сообществ. Высокие дозы радиации по-прежнему (в нашем мониторинге нарастающих доз) не отразились существенно на интегральных показателях нативной биомассы. При наличии в грунте Марса микроорганизмов в анабиотическом состоянии (т.е. отсутствии возможности репарации клеток), эквивалентная доза должна быть набрана клетками в близких к поверхности слоях реголита за примерно 500 тыс. лет. С глубиной скорость наращивания дозы быстро снижается. Аналогичная логика рассуждений приводит нас к выводу, что в составе метеоритов клетки наберут идентичную дозу примерно за 20-50 тыс. лет. Что открывает возможности для потенциальной межпланетной транспермии.



Рис.8. Гамма-пушка К-20000, используемая для облучения биологических образцов (НИИ ядерной физики СПбГПУ)



Рис. 9

Ответственный исполнитель : к.б.н. Воробьева Е.А., [esautin@yandex.ru](mailto:esautin@yandex.ru)

#### 4.5 Измерение поглощения метана в атмосфере в ближнем ИК диапазоне методом гетеродинной спектроскопии высокого разрешения.

Развитие метода гетеродинной спектроскопии высокого и сверхвысокого разрешения совместным коллективом МФТИ, ИОФ РАН им. А.М.Прохорова и ИКИ РАН позволило впервые измерить спектры поглощения атмосферы Земли в ближнем инфракрасном диапазоне (1.58-1.65 мкм) со спектральным разрешением  $\sim 10^8$ . Установка состоит из направленного на Солнце микротелескопа, диодного лазера, играющего роль гетеродина и снабженного системой прецизионного управления частотой излучения, реперного канала, по которому осуществляется стабилизация частоты, оптоволоконной системы передачи излучения, в которой осуществляется совмещение волновых фронтов излучения Солнца и гетеродина. Прием излучения осуществляется балансным детектором, который измеряет дисперсию интенсивности падающего излучения в полосе приема, которая может меняться в диапазоне 3-30 МГц. Именно полоса приема детектора определяет в конечном счете эффективное спектральное разрешение прибора.

По результатам измерений полностью разрешенного контура мультиплета метана в полосе 1.65 мкм при помощи метода регуляризации решения обратной задачи был восстановлен вертикальный профиль содержания метана в атмосфере. Эффективная точность метода составляет 10-20 ppb, что позволяет использовать данный метод для создания систем мониторинга парниковых газов. За счет применения ряда новых для гетеродинной спектроскопии решений метод может быть реализован на борту космического аппарата, что позволило на этапе эскизного проектирования включить канал измерения спектра пропускания атмосферы Марса на открытой трассе в состав лазерного спектрометра “М-ДЛС” российской посадочной платформы “ЭкзоМарс”.



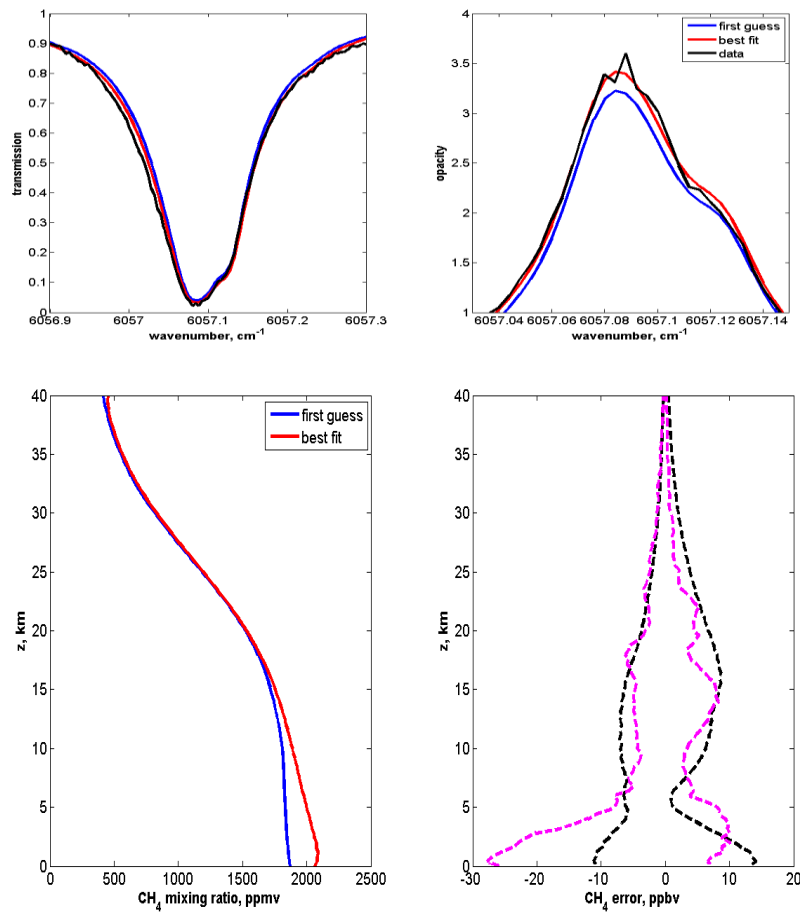


Рис. 2. (a) Спектр пропускания атмосферы, измеренный гетеродинным методом в окрестности мультиплета метана 6057 см<sup>-1</sup>; (b) то же в терминах оптической толщины атмосферы; (c) восстановленный вертикальный профиль метана; (d) ошибки восстановления

Руководитель: д. ф.-м.н. А.В.Родин, [alexander.rodin@phystech.edu](mailto:alexander.rodin@phystech.edu).