

## НАПРАВЛЕНИЕ 9: МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Координаторы: М.В. Герасимов (ИКИ), Г.К. Боровин (ИПМ), В.Ф. Гальченко (ИНМИ)

<b>ПРОЕКТ. 9.1. ПРИБОРЫ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>			
	Тема 9.1.1. Глубинное зондирование грунта Луны и радиопросвечивание окололунной плазмы методом бистатической радиолокации	ФИРЭ РАН	Яковлев О.И.
	Тема 9.1.2. Антенные и зондовые методы диагностики электромагнитных излучений (генерации, распространения и регистрации шумовых и регулярных излучений) в плазме солнечного ветра, в магнитосфере и ионосфере Земли и других планет солнечной системы. Предложение новых методов диагностики параметров неравновесной космической плазмы.	ИПФ РАН	Чугунов Ю.В.
	Тема 9.1.3. Разработка комплекса научной аппаратуры для измерения солнечного терагерцового излучения (баллонный и спутниковый эксперименты).	ФИАН	Базилевская Г.А., Махмутов В.С.
	Тема 9.1.4. Исследования методики и новых принципов построения прибора для контактных теплофизических измерений. Определение по данным температурного зондирования поверхностного грунта и его теплопроводности, глубины проникновения тепловой волны в толщу грунта и получения информации о физических свойствах пород на поверхности Луны.	ГЕОХИ РАН	Маров М.Я.
	Тема 9.1.5. Исследования возможностей определения элементного и изотопного состава газосодержания проб лунного вещества по аналитическим данным хромато-масс-спектрометрических измерений в проектах «Луна Глоб» и «Луна Ресурс».	ГЕОХИ РАН	М.Я. Маров, В.А.Дорофее ва
	Тема 9.1.6. Исследование зависимости преобразования нейтральных атомов в ионы и оптимизация конвертера нейтральных атомов в ионы (выбор мишени и конфигурации конвертера) для их регистрации ионным масс-спектрометром	ИКИ РАН	О.Л.Вайсбер г
	Тема 9.1.7. Исследование атмосфер и летучих компонент вещества планет и малых тел методом диодно-лазерной спектроскопии	ИКИ РАН	Виноградов И.И.
	Тема 9.1.8. Радиофизические исследования на поверхности Луны	ИКИ РАН	Скальский А.А.
<b>Проект 9.2. Перспективные аппараты для солнечных, гелиосферных и планетных исследований</b>			
	Тема 9.2.1. Создание перспективных космических аппаратов и разработка новых методов исследований астрофизических	ФИАН	Кузин С.В.

	объектов		
	Тема 9.2.2. Детализация модели гравитационного поля Земли (и планет земной группы) с использованием градиентометрии	ИНАСАН	Татевян С.К.
<b>Проект 9.3. Баллистические сценарии и необходимые характеристики новых проектов.</b>			
	Тема 9.3.1. Модифицированный метод виртуальных траекторий для проектирования межпланетных миссий	ИПМ РАН	Овчинников М.Ю.
<b>Проект 9.4. Бортовые приборы ориентации, управления, сбора и обработки научной информации</b>			
	Тема 9.4.1. Разработка методов проектирования траекторий полетов КА с использованием гравитационных маневров для исследований Солнечной системы	ИПМ РАН	Боровин Г.К.
	Тема 9.4.2. Повышение энергоэффективности и радиационной стойкости бортовых солнечных батарей на основе каскадных фотопреобразователей	ФТИ РАН	Андреев В.М.
	Тема 9.4.3. Разработка лунной солнечной электростанции для энергоснабжения долговременных баз на поверхности Луны (из 3-направления 3.7).	ФТИ РАН	Румянцев В. Д.
	Тема 9.4.4. Создание высокотемпературных радиационно-стойких Карбид кремниевых детекторов для регистрации и спектрометрии высокоэнергетичных частиц и ультрафиолетового излучения	ФТИ РАН	Калинина Е.В.
<b>Проект 9.5. Наземные системы обработки и распределения научной информации</b>			
	Тема 9.5.1. Создание программно-аппаратного комплекса архива научных космических данных	ИКИ РАН	Назирова Р.Р.
	Тема 9.5.2. Создание архива экспериментальных данных и программного обеспечения для радиозатменных и радиолокационных экспериментов	ФИРЭ	Гаврик А.Л.
<b>Проект 9.6. Методы обнаружения биологических и палеобиологических объектов, а также их биомаркеров</b>			
	Тема 9.6.1. Разработка методов астробиологического поиска жизни в Солнечной системе	ИКИ РАН	Григорьев А.В.
<b>Проект 9.7. Устойчивость земных биоформ в космической и инопланетной среде</b>			
	Тема 9.7.1. Устойчивость биоформ и биомаркеров в космической и инопланетной среде	ИКИ РАН	Воробьева Е.А.
	Тема 9.7.2. Изучение экзобиологического потенциала Титана и аналогичных ледяных спутников планет –гигантов	ИНЦ РАН	Симаков М.Б.
	Проекты 7. Тем 20		

## **РАЗДЕЛ. 9.1. ПРИБОРЫ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **Проект 9.1.1. «Глубинное бистатическое радиозондирование грунта Луны, радиопросвечивание окололунной плазмы и анализ электромагнитных шумов с использованием спутника Луны»**

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (Фрязинский филиал)

Руководитель Яковлев О.И., [oiy@ire216.msk.su](mailto:oiy@ire216.msk.su)

Разработана новая методика определения глубинного распределения диэлектрических характеристик и плотности грунта Луны при проведении экспериментов бистатической радиолокации. Задача решена в следующей формулировке: мощный передатчик, расположен на Земле, на спутнике Луны осуществляется прием сигналов. Эффект Доплера позволяет разделить радиосигналы на «прямой» и «отраженный», что дает возможность определить коэффициент отражения радиоволн с высокой точностью. Проведенный теоретический анализ радиофизических соотношений с учетом технических возможностей отечественных радиокомплексов и результаты численного моделирования позволили выяснить, какие характеристики отраженных радиоволн вертикальной и горизонтальной поляризации на разных частот наиболее чувствительны к вариациям толщины слоя реголита, плотности грунта и комплексной диэлектрической проницаемости реальных лунных пород.

Разработана и численно реализована методика решения обратной задачи, когда по заданным значениям коэффициента отражения для вертикальной и горизонтальной поляризации радиоволны нужно найти характеристики грунта. Ее решение основано на комплексном анализе измерений отраженных от грунта Луны сигналов передатчиков комплексов СУРА и ИРНР и штатной линии связи спутника. Показано, что проведение эксперимента по разработанной методике позволит составить карту глубинного распределения плотности приповерхностных пород, их диэлектрической проницаемости для различных районов видимой стороны Луны.

#### **Публикации по проекту за 2012-2014 г.**

1. Pavelyev A. G., Zhang K., Matyugov S. S., Lion Y. A., Yakovlev O. I. Analytical model of bistatic reflections radiosignals // Radio Science. 2012.v.46.RS 1009. Doi. 10. 1029/2010 RS 004434.

2. Pavelyev A. G., Gubenco V. N., Matyugov S. S., Zakharov A. I., Yakovlev O. I. Perspective of the bistatic radar and occultation studying// EGU General Assembly. EGU 2013 . 7-10.
3. Smirnov V. M., Yushkova O. V., Yakovlev O. I., Pavelyev A. G., Marchuk V.N. Radiolocation as an effective tool for remote sensing of the subsurface structure of the lunar soil // The fifth Moscow Solar System Symposium (5MS<sup>3</sup>). Moscow. Russia. Space Research Institute. 2014. P. 5MS3-PS-35 ab-82-83.  
[http://ms2014.cosmos.ru/sites/ms2014.cosmos.ru/files/5m-s3\\_program-0919.pdf](http://ms2014.cosmos.ru/sites/ms2014.cosmos.ru/files/5m-s3_program-0919.pdf)
4. Юшкова О. В., Яковлев О. И. Анализ возможностей определения характеристик грунта Луны методом бистатической радиолокации // Радиофизика. 2014 (в печати)

**Проект 9.1.2. «Активные и пассивные методы антенной и зондовой диагностики неравновесных процессов в космической плазме».**

Руководитель Чугунов Ю.В., доктор физико-математических наук, ИПФ РАН, E-mail: [chugun@appl.sci-nnov.ru](mailto:chugun@appl.sci-nnov.ru)

**Результат 1.** Продолжено построение теоретической модели, приближенно описывающей динамику плазменно-волновых каналов в магнитоактивной плазме. С использованием простейших численных методов на отдельных шагах было найдено теоретическое решение для пространственно-временного распределения электрического поля излучения антенны, возбуждающей канал, и концентрации частиц в канале. Основное допущение, которое ранее не использовалось и на котором строится модель, заключается в том, что канал полагается стационарным вдоль всей длины, за исключением сравнительно малой передней части, в которой поле резко усиливается, а ионизация происходит особенно интенсивно. Важно отметить, что рассматривалось возбуждение канала медленными квазипотенциальными волнами, т. е. проведенный анализ формально справедлив в ближней зоне антенны.

**Результат 2.** Для систем коротких металлических антенн в магнитоактивной плазме был развит известный численный электромагнитный код (NEC), который основан на методе моментов и широко применяется при анализе излучения антенн в изотропных средах. Был написан программный код, который позволяет определять входной импеданс антенн, состоящих из коротких прямых проводов, в различных частотных интервалах. В частности, были проведены тестовые расчеты импеданса коротких дипольных антенн, и

результаты совпадают с теоретическими. Например, расчеты показали, что в резонансных интервалах (свистовом и др.) действительная часть импеданса существенно превосходит соответствующую величину в вакуумном случае, что отвечает эффективному возбуждению плазменной (в данном случае – квазиэлектростатической) волны.

Публикации:

*Е. А. Широков, Ю. В. Чугунов.* Формирование плазменно-волновых каналов при ионизационном самовоздействии квазиэлектростатических волн в неоднородной магнитоактивной плазме // Девятая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». Тезисы докладов. Стр. 144–145. Москва, ИКИ РАН, 10–14 февраля 2014 г.

*E. A. Shirokov, Yu. V. Chugunov.* Dynamics of Plasma-Wave Channels in Magnetized Plasmas // Europhysics Conference Abstracts. Vol. 38F. 41st EPS Conference on Plasma Physics. 2014.

*Е. А. Широков, Ю. В. Чугунов.* Нестационарная модель динамики плазменно-волновых каналов в магнитоактивной плазме // Изв. вузов. Радиофизика. (Направлено в печать.)

*Ю. В. Чугунов, Е. А. Широков, И. А. Фомина.* К теории короткой цилиндрической антенны в анизотропных средах // Изв. вузов. Радиофизика. (Статья принята к печати.)

*E. Shirokov.* Computations of the Input Impedance of Antennas in a Magnetoplasma Using the Method of Moments // IEEE Xplore. 2014 XXXIth URSI General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS). 2014. doi: 10.1109/URSIGASS.2014.6929736

### **Тема 9.1.3. Разработка комплекса научной аппаратуры для измерения солнечного терагерцового излучения (баллонный и спутниковый эксперименты).**

Руководители работ: Базилевская Г.А. (ФИАН; [gbaz@rambler.ru](mailto:gbaz@rambler.ru)), Махмутов В.С. (ФИАН; [makhmutv@sci.lebedev.ru](mailto:makhmutv@sci.lebedev.ru))

1. Проведен сравнительный анализ физических моделей генерации солнечного субмиллиметрового и терагерцового излучений в солнечной плазме. Проведено исследование свойств квази-двухлетней вариации солнечной активности.

Существующие модели генерации солнечного субмиллиметрового и терагерцового излучений в солнечной плазме могут объяснить наблюдения лишь в первом приближении, т.к. отсутствуют детальные экспериментальные данные об особенностях спектра и о поляризации излучения.

Впервые установлены основные свойства квази-двухлетних вариаций солнечной активности: независимость в южной и северной полусферах Солнца, синхронность во всех

слоях атмосферы Солнца, неустойчивость периода, признаки стохастичности, модуляция 11-летним солнечным циклом.

2. Уточнены необходимые требования к комплексу аппаратуры по регистрации солнечного терагерцового излучения. На данном этапе требования к комплексу аппаратуры для регистрации солнечного терагерцового излучения должны основываться не на моделях, а на накопленной, хотя и скудной, экспериментальной информации о свойствах вспышечного субтерагерцового излучения: - пиковое значение потока радиоизлучения  $\sim 10^4$  единиц солнечного потока (sfu) на частотах  $> 400$  ГГц; - рост интенсивности излучения с частотой  $\propto f^\delta$ , где  $\delta \sim 1-6$ ; - быстрые вариации потока с субсекундными временами; - размеры источника  $\sim 20''$  - возможно появление 2-3 пиков с характерной длительностью  $\sim 20$  с; возможны многокомпонентные источники, содержащие компактные ( $\sim 10''$ ) и протяженные ( $\sim 60''$ ) области, причем размер увеличивается с ростом частоты.

На основании имеющихся экспериментальных данных была принята предварительная схема двойной солнечной фотометрической системы позволяющая измерить радиоизлучение на частотах 3 и 7 ТГц. Система должна обеспечивать пространственное разрешение на Солнце  $\sim 10$  угловых секунд на частоте 3 THz (100 микрон). Полоса пропускания составляет  $\sim 10\%$ . Предполагается использование набора специальных фильтров: зеркал с шероховатой поверхностью (микроструктура), коммерческие мембраны и черные фильтры фирмы Тидекс, резонансные узкополосные металлические сетчатые фильтры.

Отправлено и принято в печать в 2014 г.:

1. Махмутов В.С., Базилевская Г.А., Стожков Ю.И., Ролан Ж.-П., Филиппов М.В. Анализ возрастных космических лучей, зарегистрированных в октябре-ноябре 2013 г. Изв. РАН, сер. физ., 2015

2. Базилевская Г.А., Логачев Ю.И., Вашенюк Э.В., Дайбог Е.И., Ишков В.Н., Лазутин Л.Л., Мирошниченко Л.И., Назарова М.Н., Петренко И.Е., Сузова Г.М., Яковчук О.С. Солнечные протонные события в циклах солнечной активности 21-24. Изв. РАН, сер. физ. 2015

Опубликовано:

1. Bazilevskaya G., Broomhall A.-M., Elsworth Y., Nakariakov V.M. A combined analysis of the observational aspects of the quasi-biennial oscillation in solar magnetic activity. Space Sci. Rev., 2014, doi: 10.1007/s11214-014-0068-0/1-28, online 15.07.2014.

2. Bazilevskaya G.A., Cliver E.W., Kovaltsov G.A. et al. Solar cycle in the heliosphere and cosmic rays. Space Sci. Rev. 2014, doi 10.1007/s11214-014-0084-0, online 09.09.2014.

На 9-ой ежегодной конференции "Физика плазмы в Солнечной системе" (Москва, ИКИ РАН, 10-14.02 2014) были представлены следующие доклады:

1. Махмутов В.С., Базилевская Г.А., Стожков Ю.И., Квашнин А.А. Особенности субтерагерцового излучения солнечных вспышек.

2. Базилевская Г.А., Свиржевская А.К. Эффект Гневышева и квазипериодические осцилляции в солнечной активности и в космических лучах.

#### **9.1.4. Исследования методики и новых принципов построения прибора для контактных теплофизических измерений. Определение по данным температурного зондирования поверхностного грунта и его теплопроводности, глубины проникновения тепловой волны в толщу грунта и получения информации о физических свойствах пород на поверхности Луны.**

Научный руководитель: академик РАН М.Я. Маров. Исполнители: кгмн. Е.Н. Слюта, К.К. Мануйлов, В.В. Высочкин.

Проанализирован температурный режим в полярных областях Луны, определяемый уникальными условиями освещения вследствие наклона лунной оси и плоскости орбиты Луны к плоскости эклиптики. Приведены оценки средней температуры, равновесной температуры на поверхности длительно освещенных участков и в постоянно затененных участках на дне кратеров и вклада в температуру поверхности различных факторов. Рассмотрены особенности теплопроводности и теплоемкости лунного реголита в зависимости от температуры, минералогического состава, формы и размера частиц, от пористости и объемного веса. Предложено общее аналитическое выражение для эффективной теплопроводности и эмпирическое соотношение для теплоемкости лунного реголита в диапазоне температур от 90 до 350 К и результаты расчетов по этому соотношению.

Рассмотрена тепловая модель грунта, исходя из динамического равновесия градиентного потока тепла с разностью потоков поглощенной и излученной энергии. Проведено

моделирование теплового режима грунта путем решения нелинейного одномерного уравнения теплопроводности в конечной области с граничными условиями второго рода. Сделаны оценки возможности измерения внутреннего теплового потока в эксперименте на «Луне Ресурс», что необходимо для понимания происхождения, состава, внутреннего строения и эволюции Луны. Показано, что зависимость теплопереноса от выбора моделей структуры и состава верхнего горизонта лунной коры приводит к значительной неопределенности в оценке глобального теплового потока, а его региональное распределение резко неоднородное, что может быть связано с латеральным изменением состава и мощности лунной коры и верхней мантии. Сформулированы основные научные задачи по измерению температуры на поверхности на КА «Луна Глоб» и «Луна Ресурс» и по определению на этой основе теплофизических свойств реголита в полярных районах путем решения обратных задач.

**Публикации:** М.Я. Маров и др., раздел в Сборнике «Солнечная система» (под ред. Г.Г. Райкунова), Наука, Физматлит, 2014, сс. 87-89. Подготовлена статья для публикации в журнале.

#### **9.1.5. Исследования возможностей определения элементного и изотопного состава газосодержания проб лунного вещества по аналитическим данным хромато-масс-спектрометрических измерений в проектах "Луна Глоб" и "Луна Ресурс".**

Научн. рук. Акад. М.Я. Маров, исп-ли: дхн В.А. Дорофеева, кгмн Е.Н. Слюта, В.В. Высочкин.

Оценены скорость и объемы поступления воды на Луну за счет основных источников и объемы водного льда, которые можно ожидать в холодных ловушках полярных районов, включая скорость сублимации отложений льда и диффузии через слой реголита, а также возможность неравномерных отложений льда воды и летучих в приповерхностном слое. Обобщены данные дистанционных исследований содержания  $H_2O/OH$  в верхнем слое лунного реголита, свидетельствующие о том, что  $H_2O/OH$  присутствует на значительной части поверхности Луны, при этом область максимальных значений (500-2000 ppm) простирается от полюсов до широт  $70-60^\circ$ . Обоснована необходимость колонкового бурения на глубину не менее 2 м с целью исследования формы нахождения, условий залегания, и концентрации захороненных отложений замороженных летучих (включая водный лед) и распределения их содержания по глубине в холодных ловушках с



использованием методов и способов отбора грунта, обеспечивающих корректность измерений ввиду крайней нестабильности захороненных летучих к температурному и механическому воздействиям.

На основе проведенного критического анализа данных выделены особенности, которые необходимо учитывать при планировании эксперимента по измерениям содержания водного льда и летучих в полярных лунных областях в потенциальных районах посадки КА «Луна Ресурс». Сделан вывод, что задачи определения элементного и изотопного состава лунного вещества могут быть решены на основе аналитических хромато-масс-спектрометрических измерений газосодержания проб. Они отвечают требованиям, которым должен удовлетворять разрабатываемый масс-спектрометр. В частности, может быть решена задача идентификации, помимо основных пороодообразующих элементов, таких компонентов как P, S, CL, F и H<sub>2</sub>O/OH и определение их изотопного состава. Начаты исследования возможности захвата в полярную ловушку в форме льдов или клатратов, помимо воды, других газов, таких как CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S и др., с оценками поправочных коэффициентов по отношению к воде из-за большей летучести этих компонентов. Проведен анализ свойств перспективных полярных районов для измерений летучих с целью выбора оптимальных мест посадки.

**Публикации:** М.Я. Маров и др. Статья в Сборнике «Солнечная система (под ред. Г.Г. Райкунова), Наука, Физматлит, 2014, сс. 83-86.

**Тема 9.1.6 «Исследование зависимости преобразования нейтральных атомов в ионы и оптимизация конвертера нейтральных атомов в ионы (выбор мишени и конфигурации конвертера) для их регистрации ионным масс-спектрометром».**

Руководитель выполненных исследований: д.ф.-м.н., проф. Вайсберг О.Л., [olegv@iki.rssi.ru](mailto:olegv@iki.rssi.ru)

Ответственный исполнитель: Шестаков А.Ю. [sartiom1@yandex.ru](mailto:sartiom1@yandex.ru)

1. Была проведена отработка функционирования блока источника нейтральных частиц. Подобран фокусирующий потенциал для частиц различных энергий от 1000 до 5000 эВ.

В рамках работ по исследованию зависимости преобразования нейтральных атомов в ионы была проведена работа по подбору оптимальных параметров для работы с источником нейтральных частиц. Были подобраны напряжения для оптимальной фокусировки пучка положительных ионов с энергиями от 1000 до 5000 эВ на пластину, покрытую вольфрамом для нейтрализации частиц.

2. Были проведены оценки потока нейтральных частиц, создаваемого блоком источника нейтральных частиц стенда при углах падения от 1 до 5 градусов ионов с энергией от 1000 до 5000 эВ.

При работе с источником нейтральных частиц была исследована зависимость эффективности устройства от различных положений нейтрализующего элемента (пластины с вольфрамовым покрытием). Положение элемента определяет угол падения частиц на нейтрализующую поверхность. Было определено положение элемента с максимальными показателями выхода нейтральных частиц для данной конфигурации, которое будет использоваться при дальнейших испытаниях.

3. Был выработан ряд предложений по оптимизации конструкции.

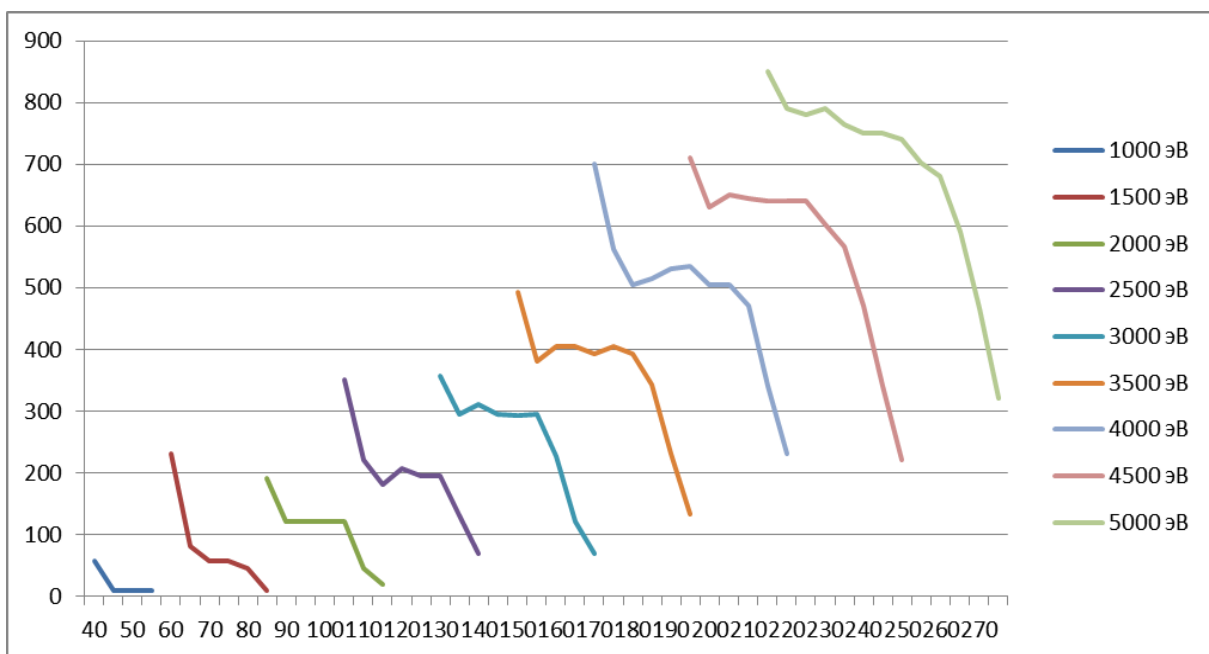
При детальном рассмотрении конструкции блока источника нейтральных частиц были определены конструктивные возможности оптимизации устройства. Конструктивные изменения предполагают изменение формы фокусирующего электрода, использование сплошной поверхности вместо сетки, что позволит повысить точность фокусировки ионов, а так же ряд предложений по изменению формы диафрагм для более эффективного отсечения переотражённых фракций.

4. На основе разработанной конструкции для лабораторных испытаний образца конвертера нейтральных частиц было создано устройство на основе ВЭУ-7.

Для лабораторных испытаний образца конвертера нейтральных частиц было создано устройство, имитирующее входное окно прибора. Такое устройство даёт возможность оценить поток частиц во входное окно прибора. В качестве счётного устройства был использован вторично-электронный умножитель типа ВЭУ-7М, была разработана и испытана плата усилителя сигнала, а так же плата делителя напряжений для питания ВЭУ.

5. Были проведены испытания образца конвертера нейтральных частиц по разработанной программе.

Образец конвертера нейтральных частиц прошёл испытания в составе разработанной конструкции на основе ВЭУ-7 согласно разработанной программе и методике испытаний с помощью специалистов НИЯУ МИФИ. В ходе испытаний были произведены оценки эффективности конвертера и влияние соотношения потенциалов на обкладках конвертера на выход частиц.



По оси Y – скорость счёта (частиц в секунду) нейтральных частиц за выходным окном источника нейтральных частиц для частиц разных энергий при угле падения 9 градусов. По оси X – напряжение в вольтах на фокусирующем анализаторе. Плато – фокусировка частиц на выходном окне, левый склон – примесь заряженных фракций из-за неточной фокусировки, правый склон – уход за край выходного окна.

#### Тема 9.1.7. Исследование атмосфер и летучих компонент вещества планет и малых тел методом диодно-лазерной спектроскопии.

**Руководитель проекта:** Виноградов И.И., к.ф.-м.н., ИКИ РАН, [imant@iki.rssi.ru](mailto:imant@iki.rssi.ru)

В 2014 г. в ИКИ РАН совместно с партнёрами (ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, МФТИ, GSMA CNRS ун-т г. Реймс, Франция) продолжена разработка концепции исследований атмосферы и летучих грунтового Марса в рамках предстоящей международной миссии «ЭкзоМарс» при помощи многоканального диодно-лазерного спектрометра М-ДЛС. Основой методики исследований в эксперименте М-ДЛС являются регулярные периодические измерения спектров молекулярного поглощения газовых проб на различных оптических трассах прибора со спектральным разрешением  $\sim 3$  МГц ( $\sim 0,0001$  см<sup>-1</sup>), что позволит полностью разрешить контур исследуемых спектральных линий.

Успешно реализован лабораторный прототип гетеродинного канала измерений М-ДЛС, при этом на основе прямых наблюдений Солнца экспериментально получены оценочные

спектры поглощения атмосферного метана и углекислого газа, восстановлен вертикальный профиль атмосферного метана и определён стратосферный ветер в хорошем соответствии с модельными данными.

Лабораторная отработка прототипа многосоставной многопроходной оптической кюветы ICOS (спектроскопия полного внутрирезонаторного выхода) подтвердила возможность достижения высокой чувствительности к относительному поглощению до  $\sim 10^{-4}$  при радикальном увеличении эффективного оптического пути до единиц километров, что обеспечивает уверенную регистрацию молекулярного поглощения в газовой пробе местной разреженной марсианской атмосферы.

Расчётные оценки чувствительности каналов измерения М-ДЛС обосновывают, в частности, возможность измерения изотопных соотношений для  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$  на уровне  $\sim 0,1\%$ , содержания  $\text{CH}_4$  вплоть до  $\sim 50$  ppt, измерения вертикальных профилей ряда атмосферных параметров и силы ветра в нижних шкалах высот при успешной реализации инструмента М-ДЛС.

Рассмотрены варианты выбора и усовершенствования методик ДЛС применительно к исследованиям лунного грунта и нижней атмосферы Венеры, в рамках планируемых перспективных миссий.

#### **Результаты работ доложены на семинарах и конференциях:**

2-я школа-семинар «Полярные процессы в атмосферах планет», Полярный геофизический институт РАН, г. Апатиты Мурманской обл. 01-04.04.2014

[http://planetsatmo.fizteh.ru/g\\_5tyywk/Program\\_seminar\\_Apatity\\_2014-arphtak0qgz](http://planetsatmo.fizteh.ru/g_5tyywk/Program_seminar_Apatity_2014-arphtak0qgz)

21-й Общероссийский семинар по диодной лазерной спектроскопии (ДЛС-21) им. А.М. Прохорова, Физический институт им. Лебедева РАН, г. Москва, 02.04.2014.

The 40<sup>th</sup> COSPAR Scientific Assembly, 2-10 August, Moscow, Russia.

The Fifth Moscow Solar System Symposium (5M-S<sup>3</sup>), IKI RAS, 13-18 October 2014.

AGU 2014 Fall Meeting, San Francisco, USA, 15-19 December, 2014.

#### **Публикации по теме:**

А.В.Родин. Лазерная и гетеродинная спектроскопия в исследованиях атмосферы Марса. 2-я школа-семинар «Полярные процессы в атмосферах планет», Полярный геофизический институт РАН, г. Апатиты Мурманской обл. 01-04.04.2014.

[http://planetsatmo.fizteh.ru/g\\_5tyywk/Program\\_seminar\\_Apatity\\_2014-arphtak0qgz](http://planetsatmo.fizteh.ru/g_5tyywk/Program_seminar_Apatity_2014-arphtak0qgz)

А.Ю.Климчук. Измерение скорости ветра по данным гетеродинной спектроскопии ближнего ИК диапазона. 2-я школа-семинар «Полярные процессы в атмосферах планет», Полярный геофизический институт РАН, г. Апатиты Мурманской обл. 01-04.04.2014.

[http://planetsatmo.fizteh.ru/g\\_5tyywk/Program\\_seminar\\_Apatity\\_2014-arphtak0qgz](http://planetsatmo.fizteh.ru/g_5tyywk/Program_seminar_Apatity_2014-arphtak0qgz)

О.В.Бендеров. Солнечный микротелескоп прибора М-ДЛС проекта «ЭкзоМарс». 2-я школа-семинар «Полярные процессы в атмосферах планет», Полярный геофизический институт РАН, г. Апатиты Мурманской обл. 01-04.04.2014.

[http://planetsatmo.fizteh.ru/g\\_5tyywk/Program\\_seminar\\_Apatity\\_2014-arphtak0qgz](http://planetsatmo.fizteh.ru/g_5tyywk/Program_seminar_Apatity_2014-arphtak0qgz)

А.В.Родин. Статус работ по гетеродинному спектрометру среднего ИК диапазона. 2-я школа-семинар «Полярные процессы в атмосферах планет», Полярный геофизический институт РАН, г. Апатиты Мурманской обл. 01-04.04.2014.

[http://planetsatmo.fizteh.ru/g\\_5tyywk/Program\\_seminar\\_Apatity\\_2014-arphtak0qgz](http://planetsatmo.fizteh.ru/g_5tyywk/Program_seminar_Apatity_2014-arphtak0qgz)

Д.В.Чурбанов. Обратные задачи гетеродинной спектроскопии ближнего и среднего ИК диапазона. 2-я школа-семинар «Полярные процессы в атмосферах планет», Полярный геофизический институт РАН, г. Апатиты Мурманской обл. 01-04.04.2014.

[http://planetsatmo.fizteh.ru/g\\_5tyywk/Program\\_seminar\\_Apatity\\_2014-arphtak0qgz](http://planetsatmo.fizteh.ru/g_5tyywk/Program_seminar_Apatity_2014-arphtak0qgz)

И.И.Виноградов, Многоканальный лазерный спектрометр для исследования атмосферы и летучих компонент грунта Марса. 21-й Общероссийский семинар по диодной лазерной спектроскопии (ДЛС-21) им. А.М. Прохорова, Физический институт им. Лебедева РАН, г. Москва, 02.04.2014. <http://www.dls.gpi.ru/rus/sem/21/2.pdf>

А.Ю.Климчук, Д.В.Чурбанов, А.В.Родин, А.И.Надеждинский, М.В.Спиридонов, Мониторинг парниковых газов с помощью гетеродинного спектро радиометра ближнего ИК диапазона. 21-й Общероссийский семинар по диодной лазерной спектроскопии (ДЛС-21) им. А.М. Прохорова, Физический институт им. Лебедева РАН, г. Москва, 02.04.2014.

<http://www.dls.gpi.ru/rus/sem/21/5.pdf>

I. Vinogradov, V. Barke, A. Klimchuk, V. Krasnopol'sky, A. Rodin, N. Amarouche, O. Benderov, D. Churbanov, J. Cousin, G. Durrý, A. Fedorova, I. Filatov, M. Gerasimov, N. Ignatiev, A. Ignatov, L. Joly, A. Kalyuzhnyi, L. Labadie, Yu. Lebedev, A. Nadezhdinskii, N. Pereslavl'tseva, Ya. Ponurovskiy, O. Roste, M. Sornig, M. Spiridonov, R. Thomson, A. Titov M-DLS – a multichannel diode laser spectrometer for Martian studies. The 40<sup>th</sup> COSPAR Scientific Assembly, 2-10 August, Moscow, Russia, report #B0.2-0038-14STW-L-118.

A. Klimchuk, A. Rodin, A. Nadezhdinskii, M. Spiridonov, D. Churbanov, Vertical profiling of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> based on high resolution ground-based NIR heterodyne spectro-radiometry. Report #C0.2-0049-14 TFS-S-007.

Imant Vinogradov, et al., Vertical profiling of sulphur dioxide and other gases content and isotope ratios in the Venusian atmosphere by a diode laser spectrometer ISKRA-V on board of the Venera-D lander. The Fifth Moscow Solar System Symposium (5M-S<sup>3</sup>), report #5MS3-VN-02, IKI RAS, 13-18 October 2014.

Imant Vinogradov, et al., Diode laser spectroscopy for the ExoMars-2018 mission stationery landing platform. The Fifth Moscow Solar System Symposium (5M-S<sup>3</sup>), report #5MS3-PS-50, IKI RAS, 13-18 October 2014.

Artem Klimchuk, Alexander Rodin, Alexander Nadezhdinskiy, Dmitry Churbanov, Maxim Spiridonov, Miniaturized Near Infrared Heterodyne Spectroradiometer for Monitoring CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and CO in the Earth Atmosphere. AGU 2014 Fall Meeting, report #A33H-3306, San Francisco, USA, 15-19 December, 2014.

Alexander Rodin, Imant Vinogradov, Artem Klimchuk, and M-DLS team, M-DLS multichannel diode laser spectrometer for ExoMars landing platform. AGU 2014 Fall Meeting, report #P11A-3745, San Francisco, USA, 15-19 December, 2014.

### **Проект 9.1.8, «Радиофизические исследования на поверхности Луны»**

**Руководитель проекта** –Скальский А.А., к.ф.-м.н., ИКИ РАН, *skalsky@iki.rssi.ru*

Исследования, проведенные на космических аппаратах Катуя и Чандраян, выявили аномально высокое отражение протонов солнечного ветра от поверхности Луны, в частности, от магнитных аномалий. Исследована возможность образования разрывов или квазиударных волн над магнитными аномалиями Луны при взаимодействии магнитного поля аномалии с солнечным ветром. Оценена доля частиц, отраженных от области аномалии, и зависимость концентрации отраженных частиц от условий в солнечном ветре и величины магнитного поля аномалии.

Радиоволновый диапазон ниже 10МГц является последним неизученным в спектре электромагнитных излучений, и его исследование может дать неожиданные научные результаты («transformational science»). Исследования низкочастотного диапазона имеет много дисциплинарный характер и представляют интерес для решения геофизических, гелиосферных и астрофизических задач. В частности, измерения в указанном диапазоне

позволяют вести поиск экзопланет земного типа, которые обладают собственным магнитным полем и, соответственно, являются источниками радиоизлучения подобного авроральному километровому излучению Земли.

Отсутствие у Луны плотной ионосферы, низкий уровень помех антропогенного происхождения делают поверхность спутника Земли идеальной базой для размещения антенного поля (фазированной решетки), состоящего из отдельных неподвижных приемников радиоизлучения, собранных в кластеры (антенна с «синтезированной» апертурой). В рамках темы рассмотрено: (1) проведение эксперимента по измерению низкочастотного электромагнитного излучения на посадочной лунной платформе с использованием элементарного приемника радиоизлучения; (2) создание кластера низкочастотной радиоантенны на поверхности Луны с использованием посадочного модуля и мобильного устройства (лунохода); (3) создание системы из нескольких кластеров с одновременным развитием инфраструктуры исследования и освоения Луны (системы топографической привязки и передачи данных с использованием спутников-ретрансляторов, взаимодействия лунной технологической инфраструктуры с наземным сегментом радиоантенны).

#### **Доклады:**

Kolmasova, Ivana; Santolik, Ondrej; Belyayev, Serhiy; Uhler, Ludek; Skalsky, Alexander; Pronenko, Vira; Lan, Radek, Instrumentation for the Future Lunar Missions: Multicomponent Electromagnetic Measurements at Long Wavelengths, 40th COSPAR Scientific Assembly. Held 2-10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract B0.1-88-14., 2014.

Sadovski, Andrei; Skalsky, Alexander, Deflection of solar wind protons from the Lunar magnetic anomalies, 40th COSPAR Scientific Assembly. Held 2-10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract B0.1-23-14., 2014.

Skalsky, Alexandre; Zelenyi, Lev; Rothkaehl, Hanna; Gurvits, Leonid; Sadovski, Andrei; Mogilevsky, Mikhail; Gotlib, Vladimir, Moon exploration: lunar radio observatory, 40th COSPAR Scientific Assembly. Held 2-10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract B0.1-30-14., 2014.

#### **Публикации:**

Садовский А.М., Скальский А.А., Отражение протонов солнечного ветра от магнитных аномалий Луны, принято к публикации, Космические исследования, №1, 2015.

Sadovski, A.; Skalsky, A., Coupling of earth's magnetosphere, solar wind and lunar plasma environment, *Advances in Space Research*, Volume 54, Issue 10, p. 2017-2020, 2014, DOI: 10.1016/j.asr.2013.07.028.

## **РАЗДЕЛ 9.2. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ, ГЕЛИОСФЕРНЫХ И ПЛАНЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **Проект 9.2.1. Создание перспективных космических аппаратов и разработка новых методов исследований астрофизических объектов**

Руководитель проекта: Сергей Вадимович Кузин, ФИАН, kuzin@sci.lebedev.ru

Для создания нового поколения космических телескопов вакуумного ультрафиолетового диапазона с пространственным разрешением  $\sim 0.1$  угл. сек. требуются зеркала нормального падения исключительно высоким качеством поверхности – формой поверхности с  $RMS \sim 4$  нм и шероховатостью  $\sigma \sim 0.2-0.3$  нм. В ФИАН совместно с ИФМ РАН РАН разработаны критерии качества оптических поверхностей для подобных инструментов, а так же технология создания и аттестации суперполированных подложек для последующего создания рентгеновской оптики высокого разрешения. Стандартные технологии оптического производства обеспечивают шероховатость на уровне  $\sim 1.5$  нм. В ходе работ создана и отработана технология, обеспечивающая существенно более низкие показатели шероховатости: последовательное применение технологий глубокой шлифовки и полировки и химико-механической полировки подложек из высококачественного плавленого кварца обеспечивает шероховатость  $\sigma_{eff} \sim 0.25$  нм (рис. 1).



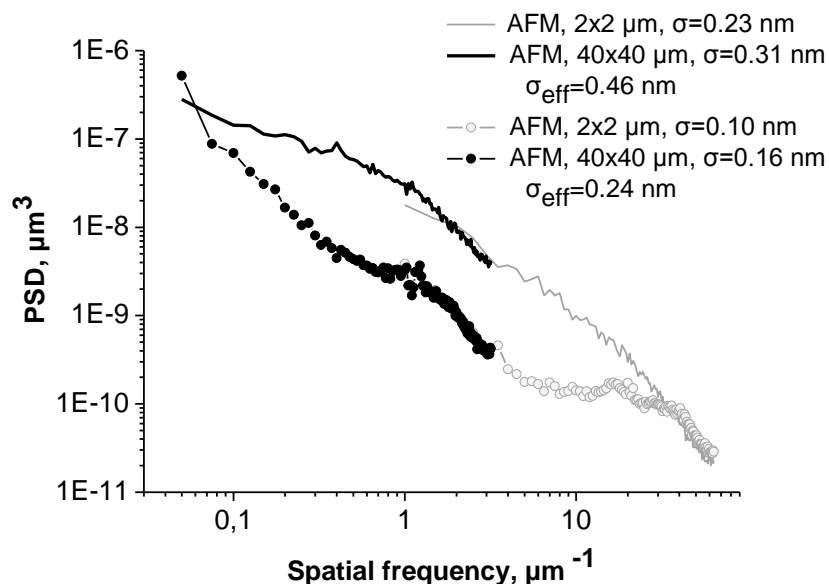


Рис. 1.  $PSD(v)$  функции подложек по классической технологии полировки (верхняя кривая) и с использованием химико-механической полировки (нижняя кривая).

Публикации:

1. Sergey Shestov, Viktor Ermakov, Sergey Kanorski, Sergey Kuzin et al. Enabling high-resolution extreme UV solar astronomy, SPIE Newsroom, 10.1117/2.1201411.005683
2. Kobayashi, Ken; Cirtain, Jonathan; Winebarger, Amy R.; Korreck, Kelly; Golub, Leon; Walsh, Robert W.; De Pontieu, Bart; DeForest, Craig; Title, Alan; Kuzin, Sergey et al, The High-Resolution Coronal Imager (Hi-C), Solar Physics, Volume 289, Issue 11, pp.4393-4412
3. Shestov, Sergey V.; Ulyanov, Artem S.; Vishnyakov, Eugene A.; Pertsov, Andrei A.; Kuzin, Sergey V., Complex of instrumentation KORTES for the EUV and x-ray imaging and spectroscopy of the solar corona, Proceedings of the SPIE, Volume 9144, id. 91443G 8 pp. (2014)
4. Petrukovich, Anatoli; Izmodenov, Vladislav; Zelenyi, Lev; Kuzin, Sergey; Kuznetsov, Vladimir; Eismont, Natan, Future heliospheric missions from Russian perspective, 40th COSPAR Scientific Assembly. Held 2-10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract D2.3-4-14

### **Проект 9.2.2. Детализация модели гравитационного поля Земли (и планет земной группы) с использованием градиентометрии**

Руководитель проекта д.т.н. Татевян С.К. ([statev@inasan.ru](mailto:statev@inasan.ru)) тел. 495 9512923

Исполнители: к.т.н. Ключков А.А.(отв. исп.), К.В.Эбауэр, к.ф.-м.н. Н.А.Сорокин.

В соответствии с планом работ на 2014 год были выполнены следующие исследования:

1. На основе разработанного ранее алгоритма по определению параметров модели гравитационного поля Земли по измерениям в канале «спутник-спутник» вариант «высокий-низкий» на основе использования метода баланса энергии разработана программа получения значения потенциала в каждой точке измерения на высоте полета спутника.
2. Разработан алгоритм определение параметров модели гравитационного поля Земли (или планеты) полуаналитическим методом (SA) с представлением наблюдений вдоль орбиты спутника в виде временного ряда одного повторяющегося периода.
3. Выполнено тестирование программы программа вычисления вторых производных от геопотенциала по прямоугольным координатам на основе использования полиномов Каннингема (SGG).

По результатам выполненной работы опубликованы 2 статья в журнале «Геодезия и картография» (№ 8 2014 г., с. 6-12) и (№ 10,2014). Готовятся к печати еще одна статья в журнале «Геодезия и картография» (Москва, Картгеоцентр), а также представлены доклады на:

- 1) Международной научно-технической конференция «Геодезия, картография, кадастр – современность и перспективы», посвященная 235-летию основания МИИГАиК, Москва, 27-28 мая 2014 года.

**Клюйков А.А.** «Полуаналитический подход при определении параметров модели гравитационного поля Земли» (устный доклад);

- 2) Научно-технический семинар на тему «Современное состояние и перспективы космической гравиметрии и градиентометрии».

Моск. обл., ФГУП «ВНИИФТРИ». 20 ноября 2014 года.

**Клюйков А.А.** «Определение параметров модели гравитационного поля Земли по измерениям в канале «спутник-спутник» вариант «высокий-низкий» (устный доклад).

## **РАЗДЕЛ 9.3. БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ СЦЕНАРИИ И НЕОБХОДИМЫЕ**

### **ХАРАКТЕРИСТИКИ НОВЫХ ПРОЕКТОВ.**

#### **Проект 9.3.1. Модифицированный метод виртуальных траекторий для проектирования межпланетных миссий**

Руководитель проекта – зав. сектором, д.ф.-м.н. Овчинников М.Ю.<sup>1</sup> [ovchinni@keldysh.ru](mailto:ovchinni@keldysh.ru)

Исполнители – Трофимов С.П.<sup>1</sup>, Широбоков М.Г.<sup>1</sup> <sup>1</sup>ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

Разработан программный комплекс для проектирования межпланетных траекторий с гравитационными маневрами методом виртуальных траекторий. Комплекс охватывает возможности построения оптимальных траекторий как с пассивными гелиоцентрическими участками и активными гравитационными маневрами, так и с пассивными гравитационными маневрами и импульсами в глубоком космосе. Комплекс может с успехом применяться на этапе предварительного проектирования межпланетных миссий, был верифицирован на модельных задачах проектирования траекторий перелета к Юпитеру и Урану с гравитационными маневрами у Земли и Венеры, а также зарегистрирован в Роспатенте.

На следующем этапе в 2015 году планируется адаптировать траектории, полученные в моделях задач двух или трех тел к эфемеридной модели N тел. В частности планируется выполнить адаптацию траекторий, полученных с помощью метода виртуальных траекторий. Предполагаемое название следующего этапа проекта – «Адаптация приближенных траекторий, полученных в моделях задач двух и трех тел, к эфемеридной модели N тел».

**Публикации по проекту:** M. Shirobokov, S. Trofimov, M. Ovchinnikov. Method of Virtual Trajectories: Concept and Implementation // **Acta Astronautica**, 2015 (отправлено в редакцию).

М.Г.Широбоков. Периодические орбиты и инвариантные многообразия в ограниченной круговой задаче трех тел. Труды XXXVIII Академических Чтений по космонавтике, Секция “Прикладная небесная механика и управление движением”, Москва, январь 2014, М.: Комиссия РАН по разработке научн. наследия пионеров освоения космич. пр-ва. 2014, с.100-101,

М.Г. Широбоков, С.П. Трофимов. Метод виртуальных траекторий для проектирования межпланетных миссий с гравитационными маневрами. Труды XXXVIII Академических Чтений по космонавтике, Секция “Автоматические космические аппараты для планетных и астрофизических исследований. Проектирование, конструкция, испытания и расчет”, Москва, январь 2014, М.: Комиссия РАН по разработке научн. наследия пионеров освоения космич. пр-ва. 2014, с.520.

**Зарегистрированный программный продукт:** программа для ЭВМ «Программный комплекс для проектирования межпланетных траекторий с активными гравитационными маневрами методом виртуальных траекторий», авторы: М.Г. Широбоков, С.П. Трофимов,

М.Ю. Овчинников, И.В. Ритус, правообладатель: Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. Номер регистрации в Роспатенте 2014660159, приоритет от 7 августа 2014 г.

## **РАЗДЕЛ 9.4. БОРТОВЫЕ ПРИБОРЫ ОРИЕНТАЦИИ, УПРАВЛЕНИЯ, СБОРА И ОБРАБОТКИ НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

### **Проект 9.4.1. Разработка методов проектирования траекторий полетов КА с использованием гравитационных маневров для исследований Солнечной системы.**

**Руководитель проекта:** Боровин Геннадий Константинович, e-mail: [borovin@keldysh.ru](mailto:borovin@keldysh.ru)

В рамках проекта разработаны методы проектирования траекторий полетов КА с использованием гравитационных маневров для исследований Солнечной системы.

1. Были исследованы полёты в системе Юпитера с использованием гравитационных манёвров около галилеевых спутников. При этом рассмотрены малозатратные туры в системе Юпитера с использованием гравитационных манёвров около её крупных тел. Ограниченные динамические возможности, имеющие место в случае маневрирования около спутников Юпитера, требуют множественных прохождений около них. При этом возможно осуществлять построение динамического макета тура в системе Юпитера с помощью диаграмм Тиссерана.

Представленная методика и ее модификации были численно реализованы с учетом гравитационного воздействия Юпитера, его спутников, а также возмущающего воздействия Солнца и планет. Было показано, что разнообразие гравитационного ансамбля в системе Юпитера при его эффективном использовании позволяет адаптировать алгоритмы построения сценариев гравитационных маневров под задачи конкретных космических миссий, включая обход опасных радиационных областей, а также посадку на один из спутников Юпитера при разумных затратах ресурсов и времени.

Приводятся типовые примеры её использования в качестве проработки конкретных вариантов миссии Роскосмоса «Лаплас».

2. Рассмотрено построение квазипериодических орбит в окрестности либрационной точки  $L_2$  системы Солнце-Земля для миссий «Спектр-РГ» и «Миллиметрон». Задача рассматривается в полной динамической модели, начальное приближение периодического решения строится с помощью метода Ричардсона, расширенного на случай эллиптической задачи трех тел. Траектории перелёта на полученную орбиту выбираются на устойчивом

многообразии точки L2 для обеспечения одноимпульсного перехода с орбиты выведения. Приведена классификация периодических движений в окрестности коллинеарных точек либрации. Рассмотрена практическая реализация некоторых типов квазипериодических орбит на примерах состоявшихся миссий к точкам либрации. Приведены периодические решения ограниченной круговой задачи трёх тел, предложенные в качестве прототипов рабочей орбиты КА «Миллиметрон», показана их реализация в полной модели действующих на КА сил. Представлены рассчитанные гало-орбиты с большим выходом из плоскости эклиптики, удовлетворяющие баллистическим требованиям к траектории аппарата.

### **Список публикаций**

1. Ю. Ф. Голубев, А. В. Грушевский, В. В. Корянов, А. Г. Тучин Синтез сценариев космических миссий в системе Юпитера с использованием гравитационных маневров. ДАН, 2014, том 456, № 1, с. 39–41
2. Г.К.Боровин, И.С.Ильин, А.Г.Тучин Квазипериодические орбиты в окрестности точки L2 системы Солнце-Земля и их применение в проектах “СПЕКТР-РГ” И “МИЛЛИМЕТРОН”. Mathematica Montisnigri, Подгорица, том XXX, 2014, с.с. 37-45
3. Ю. Ф. Голубев, А. В. Грушевский, В. В. Корянов, А. Г. Тучин Гравитационные манёвры космического аппарата в системе Юпитера. ИЗВЕСТИЯ РАН. ТЕОРИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, 2014, № 3, с. 159–177
4. Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Корянов В.В., Тучин А.Г., Тучин Д.А. Разработка стратегий исследования системы Юпитера при использовании модели ограниченной задачи четырёх тел // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2014. № 50. С. 1-30.
5. Golubev ,Yu., Grushevskii, A., Koryanov, V., Tuchin, A.: Gravity Assist Maneuvers of a Spacecraft in Jupiter System // Journal of Computer and Systems Sciences International, Pleiades Publishing Ltd, Vol. 53, No. 3, pp. 445–463 (2014) ISSN 1064-2307, 1555-6530 Springer. doi:10.1134/S1064230714030083

### **Участие в конференциях**

1. Ю. Ф. Голубев, А. В. Грушевский, В. В. Корянов, А. Г. Тучин К вопросу об использовании диаграммы Тиссерана при проектировании гравитационных манёвров. Чтения по космонавтике, январь 2014, секция 5, Прикладная небесная механика и управление движением. Тезисы с.с.108-109.

2. Grushevskii A.V., Golubev Yu.F., Koryanov V.V., Tuchin A.G. To the adaptive multibody gravity assist tours design in Jovian system for the Ganymede Landing // 24th International Symposium on Space Flight Dynamics (ISSFD), Held 5-9 May 2014 in Laurel, Maryland, Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory (JHU APL), Paper S15-4.  
URL:[https://dnnpro.outr.jhuapl.edu/Portals/35/ISSFD24\\_Paper\\_Release/ISSFD24\\_Paper\\_S15-4\\_GRUSHEVSKII.pdf](https://dnnpro.outr.jhuapl.edu/Portals/35/ISSFD24_Paper_Release/ISSFD24_Paper_S15-4_GRUSHEVSKII.pdf)
3. Grushevskii, Alexey; Golubev, Yury; Koryanov, Victor; Tuchin, Andrey. Designing of Multibody Gravity Assist Tours in Jovian System for the Satellite Landing // 40th COSPAR Scientific Assembly. Held 2-10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract B0.3-20-14  
URL:<http://adsabs.harvard.edu/abs/2014cosp...40E1084G>
4. Grushevskii, Alexey V., Golubev Yuri F., Koryanov Victor V , Tuchin Andrey G. Adaptive low radiation multibody gravity assist tours design in Jovian system for the landing on Jovian's moons // Proc. 65th International Astronautical Congress (IAC 2014), 29 September-3 October 2014, Toronto, Canada. Manuscript IAC-14, C1,9,13,x2140. In CD Book 65th IAC, IAC-14/C1/9/manuscripts/IAC-14,C1,9,13,x21406.pdf
5. Ivan Ilin, Andrew Tuchin QUASI-PERIODIC ORBITS IN THE VICINITY OF THE SUN-EARTH SYSTEM L2 POINT AND THEIR IMPLEMENTATION IN “SPECTR-RG” AND “MILLIMETRON” MISSIONS 65th International Astronautical Congress, Toronto, Canada. Copyright ©2014 by the International Astronautical Federation. All rights reserved. IAC-14-C1.8.13 Page 1 of 7
6. Golubev ,Yu., Grushevskii, A., Koryanov, V., Tuchin, A.: Synthesis of space mission scenarios in the Jovian system using gravity assist maneuvers // Doklady Physics, Pleiades Publishing Ltd, Vol. 59, No. 5, pp. 226–228 (2014) Springer. doi:10.1134/S1028335814050024
7. Golubev, Yu. F. et al. “Synthesis of Space Mission Scenarios in the Jovian System Using Gravity Assist Maneuvers.” Dokl. Phys. 59.5 (2014): 226–228. CrossRef. Web.

**Проект 9.4.2. «Повышение энергоэффективности и радиационной стойкости бортовых солнечных батарей на основе каскадных фотопреобразователей; Разработка лунной солнечной электростанции для энергоснабжения долговременных баз на поверхности луны».**

**Руководитель проекта:** Зав. лаб. фотоэлектрических преобразователей ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, д.т.н., профессор Андреев В.М., e-mail [vmandreev@mail.ioffe.ru](mailto:vmandreev@mail.ioffe.ru)

В структурах высокоэффективных трехкаскадных фотопреобразователей с р-п переходами в материалах GaInP/GaInAs/Ge устранено влияние внутреннего потенциального барьера на гетерогранице промежуточных слоев n-GaInP/n-Ge, что являлось одной из главных причин снижения КПД при низких температурах ( $T=100\div 200\text{K}$ ). При постростовой обработке эпитаксиальных структур разработан одностадийного разделения на чипы посредством одностадийного травления. Получаемая в результате травления боковая поверхность мезы оказывается гладкой за счет подавления эффектов селективности травления многочисленных слоев существенно различающегося состава. Благодаря снижению уровня токов утечки получены значения КПД для освещения под солнечным спектром AM0,  $1367\text{ Вт/м}^2$  на уровне, превышающем 35% при кратностях концентрирования излучения  $C=10 \div 100$  «солнц». Данные условия соответствуют солнечному излучению в околоземном космическом пространстве и на поверхности Луны.

Проведено теоретическое рассмотрение процессов передачи генерируемой электрической энергии в нагрузку и рассеяния остаточного тепла для оценки температуры р-п переходов в фотопреобразователях, работающих на оптимальную нагрузку. Для верификации методики проведены исследования температурных режимов образцов при лазерном фотовозбуждении.

Создан уникальный имитатор солнечного излучения, позволяющий в импульсном режиме при большой апертуре воспроизводить параметры внеатмосферного солнечного излучения по интенсивности, спектру и угловой расходимости светового потока. Апертура прибора позволяет производить измерения фотоэлектрических параметров солнечных модулей с концентраторами излучения при общих размерах до  $0,5 \times 0,5\text{ м}^2$ .

#### СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. В.М. Андреев. «Мощные фотоэлектрические преобразователи монохроматического и концентрированного солнечного излучения». Современная электроника, N 6, 2014, стр. 20-25.
2. В.Д. Румянцев, В.М. Андреев, Н.А. Калюжный, С.А. Минтаиров, В.С. Калиновский, В.П. Хвостиков, М.З.Шварц. "Высокоэффективные фотоэлектрические преобразователи лазерного и солнечного излучения космического применения". Конференция «Современное развитие распределенной энергетики на основе комплексного и сбалансированного использования местных топливных ресурсов и ВИЭ», С.-Петербург, 8-

9 октября 2014 г. Секция 4. «Космическая и атомная энергетика. Особенности и тенденции развития»

3. V.S. Kalinovsky, E.A. Grebenshchikova, N.D. Il'inskaya, E.V. Kontrosh, N.M. Lebedeva, A.V. Malevskaya and V.M. Andreev. "Characteristics of InGaP/Ga(In)As/Ge Solar Cells Fabricated with Wet Etching Final Process". Proceedings of the 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), 2014, Kyoto, Japan.

#### **Проект 9.4.3. Создание высокотемпературных радиационно-стойких Карбид кремниевых детекторов для регистрации и спектрометрии высокоэнергетичных частиц и ультрафиолетового излучения**

Руководитель темы: д.ф.-м.н., в.н.с. Калинина Евгения Викторовна, ФТИ им А.Ф. Иоффе РАН, evk@mail.ioffe.ru

- Сформированы детекторные структуры  $4H$ -SiC с барьерами Шоттки, эффективно работающие в диапазоне ультрафиолетового (УФ) излучения 200-400 нм. Проведены электрические и оптические исследования таких структур в диапазоне температур 25 - 180°C. Было показано, что с повышением рабочей температуры детекторов до 180°C их фоточувствительность сохраняется и даже наблюдается увеличение квантовой эффективности. Представлены теоретические обоснования роста квантовой эффективности с повышением температуры для длинноволнового и коротковолнового участков спектра.

- Детекторные структуры  $4H$ -SiC с барьерами Шоттки облучались тяжелыми ионами Хе, моделирующими воздействие тяжелоионной компоненты спектра космического излучения. Облучение ионами Хе с энергией 167 МэВ проводилось при температуре 25 °C флюенсом  $6 \times 10^9 \text{ см}^{-2}$ . После облучения квантовая эффективность детекторных структур уменьшалась в 2-2.5 раза по сравнению с исходными образцами во всем исследуемом спектральном диапазоне. Это объясняется введением в детекторную структуру при облучении ионами Хе широкого спектра радиационных дефектов, что привело и к росту сопротивления образцов.

- Термический нагрев облученных образцов до температуры 180°C сопровождался увеличением квантовой эффективности детекторов во всем исследуемом спектральном диапазоне прежде всего за счет отжига некоторых низкотемпературных радиационных дефектов. В начале пробега ионов Хе превалировали радиационные дефекты



компенсирующего типа, их отжиг сопровождался увеличением концентрации носителей заряда. Уменьшение сопротивления детекторных структур при нагреве облученных структур определяется отжигом радиационных дефектов во всем объеме образцов, образующихся в нем за счет эффекта дальнего действия.

- Полученные результаты подтверждают высокую радиационную стойкость SiC, поскольку УФ 4H-SiC детекторные структуры с барьерами Шоттки сохраняют свою работоспособность при облучении тяжелыми ионами Xe флюенсом  $6 \times 10^9 \text{ см}^{-2}$  с энергией 167 МэВ.

- С повышением рабочей температуры детекторов до 180°C их фоточувствительность сохраняется и даже наблюдается увеличение квантовой эффективности в спектральном диапазоне 200-400 нм. Это указывает на увеличение временного и радиационного ресурсов ультрафиолетовых 4H-SiC детекторов при повышенных температурах.

1. Калинина,ЕВ; Чучвага,НА; Богданова,ЕВ; Стрельчук,АМ; Шустов,ДБ; Заморянская,МВ; Скуратов,ВА. Оптические и электрические свойства 4H-SiC, облученного ионами Хе. // ФТП, т.48 (2), 167-174 (2014).

2. Berenquier, Baptiste; Ottaviani, Laurent; Biondo, Stephane; Palais, Olivier; Lazar, Mihai; Milesi, Frederic; Torregrosa, Frank; Kalinina, Evgenia; Lebedev, Alexandr; Vervisch, Wilfried; Lyoussi, Abdallah. 4H-SiC P+N UV Photodiodes:Influence of Temperature and Irradiation. // [MRS Proceedings](#) V.1693 (2014).

## **РАЗДЕЛ 9.5. НАЗЕМНЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

### **Проект 9.5.1. «Создание программно-аппаратного комплекса архива научных космических данных»**

Руководитель проекта: д.т.н. Назиров Р.Р., ИКИ РАН, e-mail: rnazirov@cosmos.ru

- Основным содержанием работы в 2014 было развитие архива научных космических данных, которое включило в себя:
- Добавление новых данных завершенных проектов (данные волнового эксперимента проекта Фобос, данные радиопросвечивания Венеры (ФИРЭ), данные и калибровки проекта Интеркосмос-Болгария 1300).
- Архивирование поступающих данных текущего проекта Плазма-Ф, включая сами данные и подготовленные описания типов данных. Результаты вторичной обработки частично были выставлены в открытый доступ.

- Поддержание программно-аппаратного узла файлового архива на базе сетевой распределенно-реплицируемой файловой системы GlusterFS; произведена закупка оборудования, обеспечивающего гарантированное хранение данных до 24 ТБ.
- Было проведено развитие информационного сайта архива <http://ssda.cosmos.ru>, включающее в себя возможность открытого доступа к данным проектов серии Прогноз, проектов Аркад, Активный, Фобос, Вега, Интеркосмос-Болгария 1300.
- На 28.11.2014 общий объем архива составил 2.2 ТБ;

### **Проект 9.5.2 Создание архива экспериментальных данных и программного обеспечения для радиозатменных и радиолокационных экспериментов**

**Руководитель проекта:** Гаврик Анатолий Леонидович, к.ф.-м.н, в.н.с. ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, E-mail: [alg248@hotmail.com](mailto:alg248@hotmail.com)

Для архива «Solar System Data Archive» создан каталог 171 сеанса радиозатмений спутников *Венера-15,-16*. В архив включены результаты цифровой регистрации радиополя двух когерентных радиоволн диапазонов 32 и 8 см, полученные на измерительном пункте в 1983-1984 г.г., и данные о параметрах радиотрассы, что позволит переобрабатывать данные радиопросвечивания ионосферы Венеры с использованием более совершенных методов. Представлены результаты определения параметров когерентных радиоволн и 155 вертикальных профилей электронной концентрации, что предоставляет возможность выявлять новые свойства ионосферы Венеры.

В архив «Solar System Data Archive» также включены результаты регистрации эхо-сигналов диапазона 6 см от астероида 1998 WT24, записанные в полосе частот 20 кГц и 60 кГц в пункте приема Медичина (Италия). Представлены результаты цифровой обработки: квадратурные компоненты эхо-сигналов в узкой полосе частот 156 Гц и спектры мощности эхо-сигналов, что позволяет анализировать данные радиолокации астероида с использованием более совершенных методов.

#### **Публикации:**

1. А.А. Смыслов, Е.А. Кулешов, А.Л. Гаврик. База данных радиозатмений космических аппаратов Венера-15,-16 // Нелинейный мир. 2014. Т.12. №2. С.55-56.

<http://elibrary.ru/item.asp?id=21213661>

2. A. Gavrik, M. Bondarenko, Yu. Gavrik, T. Kopnina. Venera-9,-10 and Venera-15,-16 occultation data: proposals for updating a model of Venus ionosphere (VIRA) / 40th COSPAR

Scientific Assembly 2014. P. C4.3-0011-14. [https://www.cospar-assembly.org/admin/session\\_cospar.php?session=411](https://www.cospar-assembly.org/admin/session_cospar.php?session=411)

3. A. Gavrik, M. Bondarenko, Yu. Gavrik, T. Kopnina. The Venus Ionosphere as seen by the Radio Science Experiment on Venera-15 and Venera-16 / 40th COSPAR Scientific Assembly 2014. P. B0.7-0025-14. [https://www.cospar-assembly.org/admin/session\\_cospar.php?session=393](https://www.cospar-assembly.org/admin/session_cospar.php?session=393)

4. Ю.А. Гаврик, А.Л. Гаврик, Е.А. Кулешов, А.А. Смыслов. Построение радиоизображения астероида Голевка по данным радиолокации / В 87 IV Всероссийские Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Материалы VI Всероссийской научной конференции – Муром: Изд.-полиграф. центр МИВЛГУ, 2014.–296с. ISSN 2304-0297 (CD-ROM). С.177-180. [http://www.mivlgu.ru/conf/armand2014/rmdzs-2014/pdf/S2\\_12.pdf](http://www.mivlgu.ru/conf/armand2014/rmdzs-2014/pdf/S2_12.pdf)

5. Ю. А. Гаврик, А. Л. Гаврик, А. А. Смыслов. Распределение радиояркости поверхности астероида Голевка по данным радиолокации // Направлена в журнал «Радиотехника и электроника» 2014 г.

## **РАЗДЕЛ 9.6. МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ПАЛЕОБИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, А ТАКЖЕ ИХ БИОМАРКЕРОВ**

### **Проект 9.6.1. Разработка методов астробиологического поиска жизни в Солнечной системе (Разработка метода НПВО спектроскопии для астробиологических задач)**

Руководитель проекта: главн. спец. Григорьев А.В., ИКИ РАН. 495)333-4455, 916)923-8253. <AVGRIRN@GMAIL.COM>, Участники проекта: Григорьев А.В., Воробьева Е.А.

Основные задачи: разработка метода обнаружения биообъектов во льду и лёдсодержащем инопланетном грунте.

Результаты.

1. Получены новые данные, подтверждающие возможность использования НПВО-спектроскопии для обнаружения потенциально существующих биомаркеров в инопланетном грунте, лёдогрунте и льду. Разработана методика прямого НПВО-анализа грунта без предварительной обработки пробы
2. Непосредственно на МНПВО-призме проведена *in situ* активизация размножения микроорганизмов в образце антарктической мерзлой осадочной породы. Показано углубление спектров поглощения биомаркеров (белков, углеводов) со временем

3. Для дальнейшей разработки метода с целью использования в автоматических миссиях крайне желательно применять МНПВО-призму из искусственного поликристаллического алмаза и исключить помеховые сигналы от линий полосы водяного пара при  $\lambda 6\mu$ , проводя измерения в вакууме или в атмосфере сухого азота.

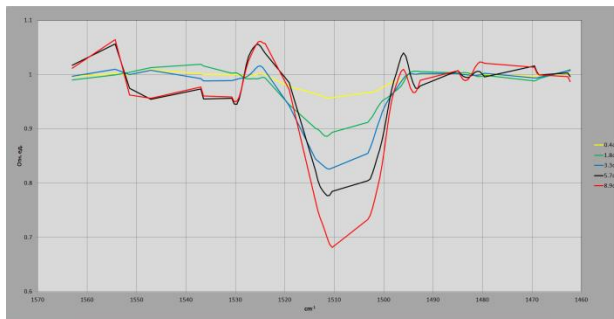


Рис. 1. Углубление белковой полосы "Амид-2" со временем: жёлтая кривая – 10 часов после добавления физиологического раствора, красная – 9 суток

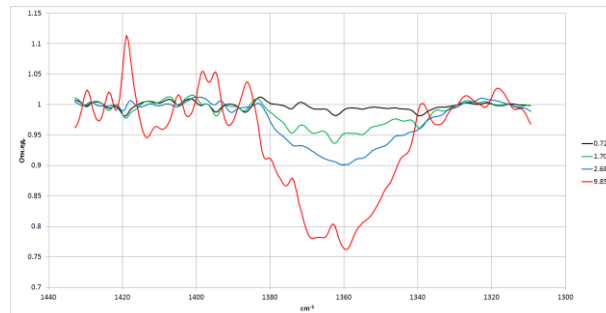


Рис. 2. Углубление полосы углеводов со временем: чёрная кривая – 17 часов после добавления физиологического раствора, красная – 10 суток

## РАЗДЕЛ 9.7. УСТОЙЧИВОСТЬ ЗЕМНЫХ БИОФОРМ В КОСМИЧЕСКОЙ И ИНОПЛАНЕТНОЙ СРЕДЕ

### Проект 9.7.1. Устойчивость биоформ и биомаркеров в космической и инопланетной среде

Руководитель проекта: Воробьева Елена Алексеевна, ИКИ РАН, к.б.н., инж. тел. +7915-495-5336, [esautin@yandex.ru](mailto:esautin@yandex.ru) ;

Исполнители: Воробьева Елена Алексеевна, Вдовина Мария Александровна (ФТИ РАН им. А.Ф. Иоффе); Павлов Анатолий Константинович (ФТИ РАН им. А.Ф. Иоффе); Чепцов Владимир Сергеевич (МГУ, ф-т почвоведения).

Цель проекта: исследование устойчивости критериев жизнеспособности земных микроорганизмов и динамики биомаркеров в условиях, моделирующих марсианский грунт и лед (низкая температура, радиация, окислители, низкое давление);

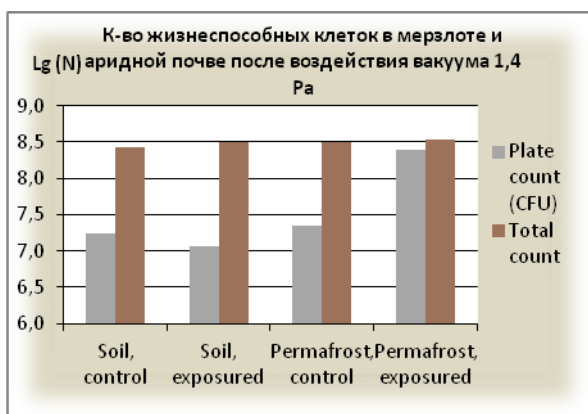
Задачами 2014 г. было: 1) модернизация гамма-установки и климатической камеры с целью обеспечения возможности облучения ионизирующей радиацией дозами более 100 кГр; 2) оценка воздействия низкого давления на структуру микробного сообщества природного грунта; 3) Гамма-облучение образцов грунта дозой 1000 кГр при низком

давлении и низкой температуре, первичная оценка присутствия жизнеспособных микроорганизмов в грунте.

## Результаты

Главными результатами проекта в 2014 г. явилось:

Получены данные по высокой устойчивости микробных сообществ грунтов к низкому давлению при значениях, моделирующих условия Марса и приближенных к космической среде. Показано, что низкое давление активно воздействует на природные биосистемы, вызывая в них метаболический отклик и адаптивную реакцию. Сделан вывод, что при низком давлении и низкой температуре среды протекторная функция минеральной матрицы способствует удержанию микроорганизмами достаточного количества воды для осуществления внутренней метаболической работы, направленной не только на устойчивость и поддержание, но и на адаптивное обновление сообществ *in situ*.



1. Получены данные о выживании микробных сообществ *in situ* в грунте после получения дозы  $\gamma$ -облучения 1MGy, их способности к метаболической активности и репликации в благоприятных условиях направленной не только на устойчивость и поддержание, но и на адаптивное обновление сообществ *in situ*.

2. Получены данные о выживании микробных сообществ *in situ* в грунте после получения дозы  $\gamma$ -облучения 1MGy, их способности к метаболической активности и репликации в благоприятных условиях

Задачи 2014 г. выполнены полностью. Планируется в 2015 г.: биохимический и популяционный анализ образцов, облученных дозой 1 MGy; создание камеры для облучения другими видами излучения (электроны, протоны) в условиях моделирования параметров Марса

### **Проект 9.7.2. «Изучение экзобиологического потенциала Титана и аналогичных ледяных спутников планет-гигантов»**

Руководитель проекта: Симаков Михаил Борисович, кхн, научный сотрудник группы экзобиологии, Института цитологии РАН, *exobio@mail.cytspb.rssi.ru*

Изучена возможность синтеза биологически-значимых соединений в условиях атмосферы Титана и водных оазисов на поверхности спутника, которые могут образоваться в местах криовулканической активности или метеоритных ударов.

Рассмотрены фотохимические реакции в  $N_2$ - $CH_4$  атмосфере, приводящие к внедрению атомов азота в сложные органические молекулы и реакции низкотемпературные гидролиза на поверхности спутника. Фотохимические процессы могут приводить к выпадению на поверхность спутника до 25 см твердых органических компонентов каждые 20 млн лет.

Установлено, что гидролиз компонентов толинов, даже при очень низких температурах, может привести к таким важным соединениям, как тимин, аспарагин, аспарагиновая кислота, глутамин, глутаминовая кислота, гистидин, не говоря уже о более простых молекулах, таких как глицин или аланин. Всего в продуктах гидролиза было идентифицировано 5 оснований нуклеиновых кислот и 17 аминокислот, входящих в состав белков: глицин, аланин, серин, пролин, треонин, изолейцин, аспарагин, аспарагиновая кислота, глутамин, лизин, глутаминовая кислота, гистидин, фенилаланин, триптофан; аденин, урацил, тимин, гуанин, цитозин.

В итоге, была установлена возможность синтеза основной части биологически-значимых для земных организмов молекул в условиях атмосферы и поверхности Титана. При наличии механизмов доставки этих компонентов внутрь спутника, это является важным условием возникновения и поддержания биосферы во внутреннем океане Титана.

Статья в печати: Simakov, M.B. Exobiology of icy satellites. Astrobiology.