



XV КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ КОСМОНАВТИКИ  
**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ  
КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**  
Москва 11-13 апреля 2018

**ТЕЗИСЫ**

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ ПРИ КОСМИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**И.Б. Абдульминов, С.В. Латынцев**

*Акционерное общество «Информационные спутниковые системы»  
им. ак. М.Ф. Решетнёва»*

## ВВЕДЕНИЕ

На КА разработки АО «ИСС» для определения угловых скоростей используются волоконно-оптические блоки измерения угловых скоростей, где чувствительным элементом - волоконно-оптический гироскоп. Такой прибор был разработан и изготовлен компанией ООО НПК «Оптолинк» по ТЗ АО «ИСС». Результаты исследования целевых характеристик данных приборов подробно рассматривались в работах [1-4].

Не менее интересным представляется исследование оптической части прибора. Так пропускные способности обычного оптического волокна ухудшаются под воздействием радиации. Для поддержания требуемого светового потока необходимо увеличивать яркость свечения источника света - увеличением тока накачки суперлюминисцентного диода (СЛД), что стремительно сокращает ресурс элемента и приводит к преждевременному отказу прибора. Основные причины затухания света в оптическом волокне рассмотрены в [5].

## 1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования изменения тока накачки СЛД от температуры окружающей среды (изменение температуры от  $-35$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ ) подтвердили хорошую корреляцию между двумя этими параметрами. Поэтому для оценки затухания света от длительного воздействия радиации сравнивались результаты, полученные при космической эксплуатации прибора и при его наземных испытаниях в термокамере.

Таким образом, с учетом работы системы стабилизации уровня постоянной засветки, оценку сохранения пропускной способности оптического волокна целесообразно вести по данным о величине тока накачки СЛД. Стоит отметить, что на разных этапах работы температурные условия для прибора были разными, поэтому при оценке пропускной способности это необходимо учитывать. Для этого рассматривались значения тока накачки СЛД в привязке к температуре оптической части измерительного канала.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ

По данной методике были проанализированные следующие данные: запуск при изменении температуры от минус  $35^{\circ}\text{C}$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ ; запуск в термокамере при температурах минус  $35^{\circ}\text{C}$ ,  $+20^{\circ}\text{C}$ ,  $+45^{\circ}\text{C}$ ; запуск при проведении входного контроля в нормальных условиях; при эксплуатации в 2015 году; при эксплуатации в 2016 году; при эксплуатации в 2017 году.

При анализе данные, характеризующих ток накачки при заданной температуре, практически совпадают на первых трех проверках. После эксплуатации в составе КА спустя один год ток накачки снизился на 5-6 мА для тех же условий, в 2017 году ток накачки СЛД остался на том же уровне, что и в 2015-2016 годах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований можно судить о сохранении пропускных характеристик оптического волокна. Стоит отметить, что оценка динамики изменения пропускных характеристик оптического волокна должна проводиться по данным, полученным в сопоставимых температурных условиях прибора, для чего целесообразно иметь данные о токе накачки во всем диапазоне температур эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Yu.N.Korkishko, и др. Fiber optic gyro for space applications. Results of R&D and flight tests / Inertial Sensors and Systems, 2016 IEEE International Symposium, Laguna Beach, CA, USA, [URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7435539/>]
2. И.Б. Абдульминов, С.В.Латынцев, и др. Анализ функционирования датчика измерения угловой скорости на основе волоконно-оптического гироскопа в натуральных условиях эксплуатации на геостационарном космическом аппарате / VIII Молодежная научно-техническая конференция «Инновационный арсенал молодежи», Спб, 2017
3. Э. Удд, Волоконно-оптические датчики / Техносфера, 2008, с 42-44

# **РАЗРАБОТКА МОДЕЛЬНЫХ КАМЕР СГОРАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ С ЦЕЛЬЮ ОТРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ВОЗМУЩАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА**

**Е.Д. Ананьев, Р.А.Царапкин**  
*arximond2010@yandex.ru*

К настоящему времени широкое распространение, при оценке высокочастотной устойчивости процесса горения в камерах сгорания жидкостного ракетного двигателя (ЖРД), получил метод, основанный на введении в камеру сгорания искусственных импульсов давления. Процесс горения считается устойчивым или неустойчивым в зависимости от того, возвращаются или не возвращаются его характеристики (колебательная составляющая давления в камере сгорания) в исходное (невозмущенное) состояние после внесения возмущения.

Для отработки подобного метода и с целью экономии ресурсов было принято решение о проведении испытаний по оценке высокочастотной устойчивости процесса горения на модельных камерах сгорания ЖРД, конструктивно близким к натурным камерам сгорания.

Объектом разработки являются модельные камеры сгорания ЖРД с давлением в них 1,0 и 2,0 МПа, предназначенные для проведения огневых испытаний на экспериментальной установке.

Целью разработки является отработка технологии применения электроимпульсного возмущающего устройства (ЭИВУ) в обеспечении оценки запасов высокочастотной устойчивости рабочего процесса при проведении огневых стендовых испытаний ЖРД.

В докладе представлены:

- расчет термодинамических параметров продуктов сгорания в модельных камерах сгорания, работающих на компонентах топлива газообразный кислород и керосин;
- расчет основных конструктивных параметров модельных камер сгорания, основанный на использовании фундаментальных обобщенных характеристик, которые определяют эффективность рабочего процесса в камере сгорания;
- расчет основных конструктивных и режимных параметров форсунок;
- оценка охлаждения водой разрабатываемых модельных камер.

Результаты, проведенных расчетов, стали основой для выпуска конструкторской документации с последующим изготовлением деталей и узлов разработанных модельных камер сгорания.

# ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЕЛЕКТИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДАТЧИКОВ ПОТОКА ИОНОВ

**И.М. Андрухович<sup>1</sup>, Н.Л. Бородкова<sup>2</sup>, И.В. Гасенкова<sup>1</sup>, Г.Н. Застенкер<sup>2</sup>, Н.И. Мухуров<sup>1</sup>, А.К. Тявловский<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»  
*irini.andrukhovich@gmail.com*

<sup>2</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет

**Научный руководитель: Гасенкова И.В., д. ф.-м. н.**  
*ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»*

Для оценки качества поверхности, выявления и визуализация скрытых дефектов селективирующих элементов датчиков потока ионов космической плазмы применена методика измерения распределения электростатического потенциала поверхности [1]. Селективирующие элементы представляют собой никелевые структуры в виде сетки, интегрированные с кольцом-держателем по периметру. Толщина и ширина витков составляет 15-20 мкм, ширина кольца-держателя составляет 4 мм, диаметры сеток – до 73 мм, прозрачность сетки выше 90%, вес менее 50 мг. Элементы получены гальваническим осаждением никеля в матрицу (шаблон) из анодного оксида алюминия [2].

Методика включает: регистрацию пространственного распределения электростатического потенциала по поверхности образца методом сканирующего зонда Кельвина; построение визуализированного изображения пространственного распределения электрофизических свойств поверхности с использованием условных индексных цветов, что позволяет наглядно представить распределение дефектов поверхности; построение гистограммы распределения значений электростатического потенциала или РВЭ (работы выхода электрона) поверхности прецизионной сетки и определение ее полуширины, а также определение математического ожидания электростатического потенциала поверхности прецизионной сетки.

Исследование пространственного распределения и анализ гистограмм тестовых образцов селективирующих элементов позволили выявить наличие участков с дефектами, которым соответствует повышенные либо пониженные значения электрофизического потенциала. Изменения значений электрофизического потенциала в дефектной области обусловлены возможным снижением механических характеристик поверхности (микротвердости, предела текучести, прочности и др.). Показано, что нарушение сплошности селективирующего элемента проявляется на визуализированном изображении пространственного распределения электрофизических свойств как область с существенно более низкими значениями РВЭ. Так как область с дефектом имеет четкие границы, то это позволяет сделать вывод, что нарушение сплошности покрытия связано с неравномерностью его нанесения, т. е. с особенностями или нарушениями технологического процесса. Установлено, что высокие значения полуширины гистограмм тестовых образцов с наличием дефектов указывают на существенную неоднородность электрофизических свойств покрытия.

Таким образом, значение полуширины диаграммы распределения электростатического потенциала может быть использовано как критерий оценки качества поверхности селективирующих элементов датчиков потока ионов космической плазмы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zharin A.L. Fundamentals of tribology and bridge the gap between the macro-and micro/nanoscales // Kluwer, Dordrecht. – 2001, p. 451-463.
2. Мухуров Н.И., Гасенкова И.В., Андрухович И.М. Особенности формирования прецизионных чувствительных элементов датчиков космической плазмы // Нано- и микросистемная техника. – 2015, Т. 174, № 1, с. 48-56.

# МЕЖЗВЕЗДНЫЙ НЕЙТРАЛЬНЫЙ КИСЛОРОД В ГЕЛИОСФЕРЕ: АНАЛИЗ ДАННЫХ КА IBEX НА ОСНОВЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

**И.И. Балюкин**<sup>1,2</sup>, **В.В. Измоденов**<sup>1,2,3</sup>, **Д.Б. Алексахов**<sup>1,3</sup>, **О.А. Катушкина**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия  
balyukin.ii@gmail.com

**Научный руководитель: Измоденов В.В., проф., д.ф.-м.н.**

Межзвездные нейтральные атомы кислорода проникают в гелиосферу из локальной межзвездной среды. Атомы кислорода, которые напрямую проникают в гелиосферу, принято называть первичными. Наряду с первичной существует также вторичная компонента межзвездных нейтральных атомов кислорода, которая образуется в окрестности гелиопаузы из-за перезарядки межзвездных ионов кислорода с атомами водорода и ее существование в гелиосфере было ранее предсказано теоретически (Izmodenov et al, 1997, 1999, 2004). В данной работе мы изучаем распределение как первичной, так и вторичной компонент атомов кислорода в гелиосфере, а также их потоки на орбите Земли.

Количественный анализ распределения межзвездного кислорода в гелиосфере возможен только с помощью модели, которая учитывает как фильтрацию первичного и рождение вторичного межзвездного кислорода в области взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой, так и детальное моделирование движения межзвездных атомов внутри гелиосферы, учитывающее временную и гелиоширотную зависимости процессов ионизации и перезарядки на протонах солнечного ветра, а также силу солнечного гравитационного притяжения. В настоящей работе представлены результаты моделирования межзвездных атомов кислорода внутри гелиосферы на основе новой трехмерной модели взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой (Izmodenov and Alexashov, ApJS, 2015). Атомы кислорода особенно интересны потому, что они, в силу процесса перезарядки, сильно связаны с протонами, а также из-за того, что потоки межзвездного нейтрального кислорода напрямую измеряются на космическом аппарате (КА) Interstellar Boundary Explorer (IBEX). Первые количественные данные измерений потоков межзвездных атомов кислорода на КА IBEX были представлены в 2015 г. (Park et al., ApJS, 2015). Качественный анализ этих данных показывает, что наряду с первичными межзвездными атомами кислорода была также измерена вторичная компонента межзвездных атомов. Проводится сравнение результатов расчетов с данными, полученными на КА IBEX.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ НЕГИДРОСТАТИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОД ЛОКАЛЬНЫМИ СТРУКТУРАМИ НА МАРСЕ

**А.В. Батов**

*Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Москва, Россия  
batov@ipu.ru*

**Научный руководитель: Гудкова Т. В., д.ф.-м.н.**

*Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия*

Выявлены зоны максимальных касательных напряжений и напряжений растяжения-сжатия в недрах Марса. Рассматриваются два типа моделей: упругая модель и модель с упругой литосферой варьируемой толщины (150-500 км), расположенной на ослабленном слое, который частично потерял свои упругие свойства. Ослабление моделируется пониженным в десять раз значением модуля сдвига вплоть до границы с ядром. Численное моделирование проводится с помощью техники функций Грина (метод нагрузочных чисел) с шагом 1x1 градус по широте и долготе до глубины 1000 км. Граничным условием служит разложение по сферическим гармоникам последних данных топографии и гравитационного поля Марса (модель MRO120D) до 90 степени и порядка, определяемых по отношению к референсной поверхности, за которую принимается равновесный сфероид. Рассмотрена двухуровневая модель компенсации, в которой источниками аномального гравитационного поля являются неравномерный рельеф и аномалии плотности на границе кора-мантия. Расчеты проведены для двух тестовых моделей внутреннего строения Марса со значением средней толщины коры 50 и 100 км и средней плотностью коры 2900 кг/м<sup>3</sup>.

Наличие ослабленного слоя под литосферой приводит к увеличению напряжений в литосфере в зависимости от ее мощности: чем толще литосфера, тем слабее напряжения в ней. Основные зоны высоких касательных напряжений и одновременно растягивающих напряжений сконцентрированы в коре в области Эллада, и в литосфере в областях: бассейн Аргир, Ацидалийская равнина, равнина Аркадия и долина Маринера.

# УЧЁТ ИОНОСФЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ГРАВИТАЦИОННОГО КРАСНОГО СМЕЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КА «РАДИОАСТРОН»

**А.В. Белоненко<sup>1</sup>, Д.А. Литвинов<sup>1,2</sup>, В.Н. Руденко<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ  
им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
av.belonenko@physics.msu.ru*

*<sup>2</sup>Астрокосмический центр Физического Института им. П.Н. Лебедева РАН*

**Научный руководитель: Руденко В.Н., д.ф.-м. н.**

*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга,  
Москва, Россия*

Эксперимент с орбитальным космическим аппаратом (КА) «Радиоастрон» кроме основного назначения – создания радиоинтерферометра со сверхдлинной (наземно-космической) базой - имеет также сопутствующую задачу по измерению гравитационного смещения частоты электромагнитных сигналов с повышенной точностью[1]. Существо таких измерений состоит в сравнении частот двух высокостабильных стандартов частоты одинакового типа, расположенных на борту КА и на наземной станции слежения (НСС). При этом информация о частоте бортового стандарта передается на НСС с помощью радиосигналов с различными несущими частотами. Нетривиальная задача состоит в выделении (фильтрации) малого релятивистского гравитационного сдвига из фона доминирующих когерентных помех, среди которых главными являются доплеровский, а также ионосферный и тропосферный сдвиги, возникающие из-за орбитального движения космического аппарата.

В докладе предполагается рассмотреть способы компенсации ионосферного сдвига частоты, применяемые в гравитационном эксперименте с КА «РадиоАстрон». Будут представлены результаты исследования ионосферного сдвига частоты сигналов с КА «РадиоАстрон», основанные на двух методах: эмпирическом [2], основанном на использовании доплеровских измерений двух разнесенных по частоте каналов связи, и расчетно-компенсационный, опирающийся на модели ионосферы, параметры которых определяются на основе измерений сети наземных приемников глобальных навигационных спутниковых систем. В эмпирическом подходе используется зависимость ионосферного сдвига от несущей частоты радиосигнала. При использовании двухчастотных приемников, можно так скомбинировать измерения, что влияние ионосферы исключится.

Для расчета ионосферного сдвига необходимо знать колонковую плотность электронов на траектории распространения сигнала. Используя эти данные, можно получить значения вариаций частоты при прохождении ионосферы. Проведённые исследования показали, что ионосферный вклад в изменение частоты сигнала оказывает существенное влияние на точность измерения гравитационного сдвига. Характерные значения ионосферного сдвига частоты, полученные по результатам анализа нескольких сеансов, имеют порядок  $10^{-14}$  –  $10^{-13}$ . Это на 1-2 порядка превосходит пороговый уровень эффектов, которые необходимо принимать во внимание для измерения эффекта гравитационного красного смещения с точностью  $1 \times 10^{-5}$ .

Измерение ионосферного сдвига осложняется наличием систематической ошибки из-за расстройки собственных частот используемых стандартов. В докладе будет представлен способ измерения данного эффекта для бортового водородного стандарта КА «Радиоастрон» и НСС, а также результаты его применения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gravitational redshift test with the space radio telescope “Radioastron” / A. V. Biriukov, et al. // *Astronomy Reports*. — 2014. — Vol. 58, no. 11. — P. 783–795.
2. R.F.C. Vessot and M.W. Levine. A Test of the Equivalence Principle Using a Space-Borne Clock. // February 1979, Volume 10, Issue 3, pp 181–204



# ИЗУЧЕНИЕ ПЫЛЕВОГО ЦИКЛА МАРСА МЕТОДОМ СОЛНЕЧНОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ

**Д.С. Бецис<sup>1</sup>, А.А. Федорова<sup>1</sup>, О.И. Кораблев<sup>1</sup>, Ж.-Л. Берто<sup>2,1</sup>,  
Ф. Монтмессан<sup>2</sup>, Ф. Лефевр<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия  
*dasha-integral@yandex.ru*

<sup>2</sup> CNRS LATMOS, Гюянкур, Франция

**Научный руководитель: Федорова А.А., к.ф.-м.н.**

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия

Атмосферный аэрозоль, включающий в себя частицы минеральной пыли и водяного льда, играет важную роль в формировании климата Марса, влияет на атмосферную динамику путем поглощения и рассеяния солнечного излучения. Основным источником пыли является поверхность, с которой частицы поднимаются за счет ветра или пылевых бурь.

Наблюдения солнечных затмений инфракрасным каналом прибора SPICAM на борту аппарата «Марс-Экспресс» проводятся с января 2005 г по настоящее время (27–34 марсианские годы). За этот период выполнено более 1200 наблюдений, по которым восстановлены профили оптической толщины, коэффициента экстинкции, параметров распределения частиц по размерам, концентрации. Сравнение этих характеристик помогает изучать пылевой цикл, межгодовые и сезонные вариации. Также период покрывает начало и развитие глобальной пылевой бури 28 марсианского года (лето 2007 г). ИК канал прибора SPICAM представляет собой инфракрасный спектрометр, работающий на основе акусто-оптического перестраиваемого фильтра. Инструмент выполняет наблюдения в различных режимах: надирные, лимбовые, солнечных затмений. Спектральное разрешение составляет  $3,5\text{--}3\text{ см}^{-1}$  и постоянно в рабочем диапазоне длин волн ( $1\text{--}1,7\text{ мкм}$ ). Вертикальное разрешение в ближайшей к поверхности Марса точке в режиме солнечных затмений меняется от 2 до 12 км, что соответствует полю зрения прибора – 4.2 угловых минут.

С марта 2018 г начинается наблюдения комплекс ACS на КА «ЭкзоМарс», запущенном 14 марта 2016 г. Один из спектрометров, входящих в состав комплекса, NIR (Near-IR) также наблюдает солнечные затмения в диапазоне  $0,7\text{--}1,6\text{ мкм}$ , поэтому его данные и данные SPICAM IR могут дополнять друг друга. Также результаты SPICAM IR могут помочь в планировании наблюдений NIR и других приборов, исследующих атмосферу Марса методом солнечного просвечивания.

По результатам работы SPICAM IR были восстановлены вертикальные профили оптических характеристик, составлена карта экстинкции в зависимости от сезона, широты местности и высоты над поверхностью. С помощью теории Ми восстановлены распределения по размерам для аэрозольных частиц на каждой высоте (параметры распределения – эффективный радиус и эффективная вариация). На некоторых профилях выявлены слои с локальным увеличением экстинкции и оптической толщины – их мы можем рассматривать как облака водяного льда, который конденсируется на частицах пыли. Минимальные значения эффективного радиуса наблюдались в южных полярных широтах во время северной весны и лета ( $0,2\text{--}0,3\text{ мкм}$ ). Эффективная вариация распределения там тоже мала (около 0,1 на высотах выше 20 км). Во второй половине года эффективный радиус частиц минеральной пыли, как правило, больше, чем в первой. Во время глобальной пылевой бури значение достигало 1 мкм даже на высотах 60–70 км. Эффективная вариация исследовалась в диапазоне  $0,1\text{--}0,6$ . Для разных сезонов и широт были построены типичные профили зависимости параметров распределения от высоты. Концентрация частиц минеральной пыли варьировалась от  $0,5\text{--}10\text{ см}^{-1}$  до  $0,03\text{--}0,08\text{ см}^{-1}$ .

Д.Б. А.Ф., О.К. благодарят грант РФФИ 16-52-16011. Жан-Лу Берто благодарит грант Правительства РФ №14.W03.31.0017.

# ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ В ЗАМАГНИЧЕННОМ ПЛОТНОМ ВЕЩЕСТВЕ

**Г.С. Бисноватый-Коган, М.В. Глушихина**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

Методом Чепмена-Энскога получено решение уравнения Больцмана для плазмы в магнитном поле с произвольным вырождением электронов и невырожденными ядрами. Для получения приближенного решения использованы обобщенные полиномы Сонина. Рассматривается полностью ионизированная плазма. Вычислены компоненты тензора теплопроводности в некантованном магнитном поле. Для невырожденной и сильно вырожденной плазмы получены асимптотические аналитические формулы, выполнено сравнение с результатами предыдущих авторов. Приближение Лоренца с пренебрежением электрон-электронных столкновений является асимптотически точным для сильно вырожденной плазмы. Получено аналитическое выражение для тензора теплопроводности в случае невырожденных электронов в присутствии магнитного поля в 3х-полиномиальном приближении с учетом электрон-электронных столкновений. Учет третьего полинома существенно улучшил точность результатов. В 2х-полиномиальном приближении наше решение совпадает с опубликованными результатами. Для сильно вырожденных электронов впервые получено асимптотически точное аналитическое решение для тензора теплопроводности в присутствии магнитного поля. Это решение имеет значительно более сложную зависимость от магнитного поля, чем зависимости в предыдущих публикациях, и дает в несколько раз меньшее значение коэффициента теплопроводности поперек магнитного поля при  $\omega\tau \sim 0.8$ .

# ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМОДЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ О РАСПРОСТРАНЕНИИ СИЛЬНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ

**Г.С. Бисноватый-Коган<sup>1</sup>, С.А. Панафидина<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *МФТИ (ГУ), Москва, Россия*

**Научный руководитель: Бисноватый-Коган Г.С., д.ф.-м.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, Россия*

В данной работе мы рассмотрели задачу о распространении сильной ударной волны в равномерно расширяющейся среде, соответствующей решению Фридмана для плоской Вселенной, проанализировали автомодельные решения, в которых имеются сингулярности, связанные с сингулярностью в решении Фридмана. Аналитические решения для различных значений показателя адиабаты принципиально отличаются друг от друга.

Для задачи был повторен вывод аналитического автомодельного решения, подготовлена программа для численного решения. Были исследованы различные свойства автомодельного решения, в частности, обнаружены принципиальные различия поведения его в зависимости от показателя адиабаты. Главным принципиальным отличием от стационарного решения является наличие сингулярности в автомодельном решении, которое является следствием сингулярности в невозмущенном решении Фридмана. Получены асимптотики аналитического решения.

# РЕЛАКСАЦИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ КАК МЕТОД КОНТРОЛЯ НАДЁЖНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

**А.М. Богачев**

*ФГБОУ ВО Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ),  
Владимир, Россия  
bogachev-ai2012@yandex.ru*

**Научный руководитель: В.П. Крылов, д.т.н.**

*ФГБОУ ВО Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ),  
Владимир, Россия  
v\_p\_krylov@vlsu.ru*

Релаксационная спектроскопия глубоких уровней (РСГУ) позволяет определить параметры глубоких центров в полупроводнике и глубоких уровней в запрещенной зоне полупроводника, которые они создали. Глубокие центры – это объёмные и поверхностные дефекты кристаллической решётки полупроводника, примеси, непреднамеренно попавшие в полупроводник или специально внесённые, последствия радиационно-технологической обработки и т.д.

Глубокие уровни не только оказывают влияние на электрофизические свойства полупроводниковой структуры, но и несут информацию о технологии производства электронного компонента, таким образом, есть основания говорить о РСГУ не только как об одном из методов индивидуального контроля надёжности полупроводниковых компонентов, но и как инструменте контроля технологии производства электронных компонентов. К достоинствам РСГУ также относится высокая чувствительность по концентрации глубоких уровней, возможность независимого определения большого количества параметров глубоких уровней. Также важно то, что РСГУ является неразрушающим методом контроля.

В докладе приводится описание эксперимента, показавшего, что при помощи емкостной спектроскопии глубоких уровней можно различать функционально одинаковые интегральные схемы, изготовленные по разным технологиям. В качестве образцов для исследования были выбраны три КМОП-микросхемы стандартной логики, содержащие в себе по четыре логических элемента 2И-НЕ: K561ЛА7 и две IN74AC00N, взятые из разных партий. Эксперимент был выполнен на измерительно-вычислительном комплексе РСГУ кафедры «Биомедицинские и электронные средства и технологии» ВлГУ. Комплекс построен на базе спектрометра DLS-82E фирмы Semilab, режим частотного сканирования используется как измерительный. Измерения проводились при разных значениях температуры образцов. Значения температуры не выходили за рамки допустимых.

# ПОЛУЧЕНИЕ ПРОДУКТОВ УРОВНЯ ОБРАБОТКИ L2A ПО ДАННЫМ SENTINEL-2

**Л.А. Бочка<sup>1</sup>, А.В. Кашницкий<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, факультет Космических Исследований, Москва, Россия  
persifik@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБУН Институт Космических Исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

**Научный руководитель: Лупян Е.А., д.т.н**

ФГБУН Институт Космических Исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

Европейское космическое агентство (ESA) предоставляет в открытом доступе уникальные данные мультиспектральной съемки высокого разрешения со спутников серии Sentinel-2 (Copernicus Open Access Hub, 2017, <https://scihub.copernicus.eu/>). В центре коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ Мониторинг» (Лупян и др., 2015) реализована технология их автоматического ежедневного получения и обработки. На конец декабря 2017 года пользователям ЦКП «ИКИ-Мониторинг» доступно более 500 Тб информации, полученной со спутников серии Sentinel-2 с 2015 года по настоящее время на территорию Северной Евразии и отдельные регионы по всему миру. Однако, на данный момент в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» используются данные уровня L1C, представляющие из себя данные без проведенной атмосферной коррекции. При этом ESA предоставляет набор инструментов для получения данных уровня L2A.

Доклад посвящен организации потоковой обработки получаемых от ESA данных уровня L1C для получения из них продуктов уровня L2A. Продукты второго уровня представляют собой набор снимков в 13 каналах для разных разрешений (10, 20 и 60 метров), карты оптической аэрозольной толщины и проницаемости водяного пара, а также результаты классификации. В докладе рассказано об особенностях обработки и организации ее в ЦКП «ИКИ-Мониторинг».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Copernicus Sentinel data, <https://scihub.copernicus.eu/>
2. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263-284.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

дистанционное зондирование Земли, данные Sentinel-2, обработка спутниковых данных, центр коллективного пользования, архивы данных ДЗЗ, технологии работы с данными, атмосферная коррекция.

# МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ НА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**В.В. Буторин<sup>1</sup>, А.В. Евенко<sup>2</sup>, А.О. Жуков<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ФГБНУ «Аналитический центр», Учебный военный центр при Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете), [vlad1206@mail.ru](mailto:vlad1206@mail.ru)

<sup>2</sup> Учебный военный центр при Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете)

<sup>3</sup> ФГБНУ «Аналитический центр»

**Научный руководитель: Жуков А.О., д.т.н, доцент**  
ФГБНУ «Аналитический центр»

Анализ программно-плановых документов развития ракетно-космической отрасли показывает, что одним из направлений реализации мероприятий исследования планет Солнечной системы является проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке и созданию перспективных космических аппаратов для решения задач изучения дальнего космоса.

Оценка функционирования существующей отечественной орбитальной группировки в околоземном космическом пространстве показывает, что в настоящее время на космических аппаратах различного целевого назначения происходят систематические сбои в их работе, возникают ситуации прекращения работоспособности аппаратов до окончания срока активного существования.

Одним из негативных факторов космических аппаратов исследования планет Солнечной системы является длительность прохождения сигнала в направлении борт-Земля и обратно на орбитах, находящихся за пределами геостационарных, а космическое пространство насыщено наличием высокодинамичных космических объектов различных размеров, поэтому минимизация времени принятых решений по управлению аппаратами является актуальной задачей.

В связи с тем, что создание космических аппаратов, развертывание их в космическом пространстве, а также использование их по целевому назначению требует существенных финансовых затрат, а бюджетная политика правительства Российской Федерации направлена на оптимизацию экономических расходов, то повышению надежности функционирования космических аппаратов со стороны заказчиков придается особое внимание.

Основными направлениями повышения надежности функционирования космических аппаратов является использование в его бортовой аппаратуре высоконадежной элементной базы, а также совершенствование алгоритмов обработки информации и реализации высокоэффективных команд управления на его борту. Так как на данный момент существует значительное число ограничений по поставке элементной базы из зарубежных стран, связанных с введением и расширением санкций, то реализация первого варианта является более затруднительной.

Для прогнозирования возникновения неисправностей на борту космических аппаратов и принятия управленческих решений предлагается методический подход на основе использования нейросетевых технологий, которые успешно зарекомендовали себя в различных областях науки и техники.

# ВОЛНОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОКОЛОЛУННОЙ СРЕДЕ

**М.С. Бученкова<sup>1,2</sup>, А.А. Скальский<sup>1</sup>, А.М. Садовский<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

*mariya.buchenkova@phystech.edu*

*<sup>2</sup>МФТИ(ГУ), Москва, Россия*

**Научный руководитель: Садовский А.М., к.ф.-м.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

В данной работе рассматриваются наблюдения и различные механизмы генерации волновых и магнитных возмущений в плазменной среде вокруг Луны: в солнечном ветре около Луны, над аномалиями магнитного поля на её поверхности, в лунном следе и вокруг его границ. Представлены механизмы генерации, распространения и другие характеристики волн.

Особое внимание уделено одиночным электростатическим волнам, монохроматическим свистам, монохроматическим волнам сверхнизкой частоты с большой амплитудой и немонохроматическим свистам.

# ИССЛЕДОВАНИЕ КАНДИДАТА В ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ GRS1739-278 ВО ВРЕМЯ ВСПЫШКИ 2014 ГОДА

**С.Д. Быков**<sup>1,2</sup>, **Е.В. Филиппова**<sup>1</sup>, **И.А. Мереминский**<sup>1</sup>, **А.Н. Семена**<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия  
<sup>2</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия  
komisar95@gmail.com

**Научный руководитель: Филиппова Е.В., к.ф.-м.н.**  
ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия

В работе исследованы свойства рентгеновской новой GRS 1739-278 во время вспышки 2014 года. Максимальный поток от источника во время этой вспышки в диапазоне 15-50 кэВ составил ~300 мКраб.

На основе анализа данных обсерваторий Swift и INTEGRAL показано, что за время вспышки система перешла из низкого/жесткого в промежуточное высокое/мягкое состояние. На основе стандартной спектральной модели были получены оценки на параметры аккреционного диска и их эволюцию во время вспышки. Были построены диаграммы зависимости жесткости (отношение потоков в диапазонах энергий 4-10 кэВ и 0.5-4 кэВ) от потока и жесткости от мощности переменности во время вспышки, на которых источник продемонстрировал характерную зависимость для данного вида объектов: «q» форму на первой диаграмме и уменьшение мощности переменности с уменьшением жесткости излучения на второй. При исследовании спектров мощности были найдены квазипериодические осцилляции на частотах 1-2 Гц.

В работе особое внимание уделено сравнению параметров системы, полученных во время вспышек 1996, 2014, 2015 и 2016 годов. Из анализа следует, что параметры аккреционного диска во время вспышек 1996 и 2014 годов примерно совпадают, в то время как во время мини-вспышки 2015 года температура аккреционного диска примерно в 2 раза меньше. Интересно отметить, что система GRS 1739-278 является первой системой, в которой был обнаружен спектральный переход во время мини-вспышки (в 2015 году), однако во время вспышки 2016 года, когда максимальный поток в диапазоне 15-50 кэВ был примерно такой же, как и во время вспышки 2015 года, такого перехода обнаружено не было.



# КИНЕТИЧЕСКИЕ ТОКОВЫЕ СЛОИ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ ПО ДАННЫМ МИССИИ CLUSTER

**А.А. Виноградов**<sup>1,2</sup>, **И.Ю. Васько**<sup>1</sup>, **А.В. Артемьев**<sup>1</sup>, **Е.В. Юшков**<sup>1,2</sup>,  
**А.А. Петрукович**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Московский Государственный Университет им. М.В Ломоносова, Физический  
факультет, Москва, Россия  
|SashaVinogradov@gmail.com*

В работе представлены наблюдения в солнечном ветре 50 токовых слоев с масштабами меньше ионной инерционной длины, которые наблюдались на спутниках Cluster в 2003-2004 при умеренном разнесении аппаратов. Для восстановления локальной системы координат используется комбинация метода MVA (Minimum Variance Analysis) и метода временных задержек (timing), которые позволяют определить направление максимальной вариации магнитного поля, направление нормали к токовому слою, вычислить скорость его движения с системе отсчета спутника, восстановить плотность тока и пространственный масштаб токового слоя. Сравнение нормалей определенных с помощью метода MVA и метода timing позволило отобрать локально одномерные токовые слои и выработать критерий применимости односпутникового метода MVA для определения нормали к токовому слою. Проведено сравнение профилей и параметров плазмы токовых слоев наблюдаемых последовательно на спутнике Wind спутниках Cluster. В рамках исследования показано, что токовые слои являются практически бессильными, полученные статистические распределения амплитуды плотности тока и пространственных масштабов токовых слоев, определены характерные параметры плазмы (плотности, температуры, плазменное бета, скорость движения ионов в системе отсчета ионов). Проанализирована гипотеза о нагреве плазмы в токовых слоях солнечного ветра.

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ НА МАРСЕ ПО ДАННЫМ ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРА TIRVIM МИССИИ ЭКЗОМАРС-2016

**П.В. Власов<sup>1,2</sup>, Н.И. Игнатьев<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Московский физико-технический институт, Москва, Россия*

*pavel.vlasov@phystech.edu*

*<sup>2</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

**Научный руководитель: Игнатьев Н.И., с н.с.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

В марте 2016 года стартовала миссия ЭкзоМарс-2016 с целью всестороннего изучения Марса. На орбитальном аппарате TGO (Trace Gas Orbiter) в числе прочих приборов установлен разработанный в Институте космических исследований РАН комплекс ACS (Atmospheric Chemistry Suite), включающий в себя спектрометры NIR, MIR и TIRVIM. Фурье-спектрометр TIRVIM работает в тепловом ИК-диапазоне 1.7-17 мкм в надирном и затменном режимах. Основная научная задача – построение температурных полей и карт распределения аэрозолей, а также изучение их суточной изменчивости. Во время манёвров TGO перед началом торможения об атмосферу были получены первые тестовые данные с приборов ACS. По полученным с TIRVIM первым данным было произведено самосогласованное восстановление температурных и аэрозольных профилей в атмосфере Марса, а также построено температурное поле вдоль трека.

Восстановление температуры поверхности, температурных и аэрозольных профилей заключается в решении обратной задачи переноса излучения путём многократного решения прямой задачи. Восстановление профилей было реализовано двумя методами: при помощи итерационной процедуры релаксации и методом статистической регуляризации.

В случае релаксации при восстановлении температурного профиля выбираются несколько спектральных каналов, для которых определяются яркостная температура измеренного излучения и соответствующие им атмосферные уровни, на которых восстанавливаются температура и концентрация аэрозолей. Сама процедура релаксации основана на модифицированном итерационном методе Шахина-Тумей и выполняется до сходимости модельного спектра к измеренному в пределах шума. Второй способ восстановления – метод статистической регуляризации – основан на расчёте не только синтетического спектра излучения, но также его функциональных производных по произвольным параметрам, одними из которых являются температурный и аэрозольные профили. Задача заключается в минимизации разницы между моделируемым спектром при варьирующихся параметрах и измеренным спектром с использованием матрицы функциональных производных.

# РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В НЕЛИНЕЙНОМ БЕССИЛОВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ С ПОМОЩЬЮ ОПТИМИЗАЦИОННОГО МЕТОДА В ПАКЕТЕ NLFFF

**И.В. Вовченко, И.В. Зимовец**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

*trample.mensell@mail.ru*

*ivanzim@iki.rssi.ru*

**Научный руководитель: Зимовец И.В., снс**

*ИКИ РАН, Москва, Россия*

Для понимания процессов, происходящих в атмосфере Солнце, необходима надежная количественная информация о магнитном поле. Поле в короне до сих пор не измеряется на регулярной основе и с достаточной точностью. Данная проблема преодолевается, в частности, посредством экстраполяции с уровня фотосферы, где поле достаточно надежно измеряется с помощью современных наземных и космических магнитографов. Для этого численно решается бездивергентно-бессилловая система уравнений, которой подчиняется поле в короне. В данной работе проанализирован один из методов решения данной задачи - оптимизационный, основанный на минимизации функционала

$$L = \int_V \left( |\operatorname{div} \mathbf{B}|^2 + \frac{|\operatorname{rot} \mathbf{B} \times \mathbf{B}|^2}{|\mathbf{B}|^2} \right)$$
 и реализованный в пакете программ NLFFF, входящего

в состав Solar SoftWare. Представлено тестирование данного метода на основе сопоставления полученных с помощью него численных решений с точными аналитическими и аналитико-численными решениями для линейных и нелинейных бессилловых полей.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯННОГО ЛАЙМАН-АЛЬФА ИЗЛУЧЕНИЯ В ГЕЛИОСФЕРЕ

**А.С. Волосатых<sup>1</sup>, В.В. Измоденов<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>*МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

*volosatых.as14@physics.msu.ru*

<sup>2</sup>*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

<sup>3</sup>*ИПМех РАН, Москва, Россия*

**Научный руководитель: Измоденов В.В., д.ф.-м.н.**

*ИКИ РАН, МГУ им. М.В.Ломоносова, ИПМех РАН, Москва, Россия*

Солнечные Лайман-альфа фотоны рассеиваются на нейтральных атомах водорода, которые проникают в гелиосферу из межзвездного пространства. Измерения рассеянного излучения используются для исследования свойств межзвездной среды и параметров солнечного ветра. Для интерпретации экспериментальных данных нужна модель, описывающая поведение межзвездных атомов и их взаимодействие с фотонами.

На основании численной кинетической модели проведено моделирование распределения атомов водорода в гелиосфере. Найдены спектры излучения, а также построены полные карты неба в интенсивности рассеянного излучения, которые используются для сравнения с экспериментальными данными.

# КОНЦЕПЦИЯ ГЕТЕРОДИННОГО СПЕКТРОМЕТРА СРЕДНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТНЫХ АТМОСФЕР

**В.В. Мещеринов, В.М. Семенов, О.В. Бендеров, С.В. Малашевич**  
*Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, Россия*  
garamov@phystech.edu

**Научный руководитель: Родин А.В., к.ф.-м.н.**  
*Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, Россия*  
ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

К настоящему времени нашей группой разработана схема гетеродинного спектрометра для реальных наблюдений в условиях обсерватории. Создан лабораторный макет прибора. Был спроектирован и изготовлен вакуумированный охлаждаемый корпус квантово-каскадного лазера (ККЛ) с распределенной обратной связью, используемого в качестве локального осциллятора. Исследовались рабочие характеристики ККЛ с длиной волны излучения 7.78 мкм. Было разработано программное обеспечение на базе платформы LabView для управления лабораторным макетом прибора и обработки результатов, а также для проведения реальных астрономических наблюдений в автоматическом режиме. Был продемонстрирован эффект гетеродинирования при смешении излучения АЧТ и лазерного излучения. При этом уровень гетеродинного сигнала составлял около 10% от дробовых шумов излучения лазера. Получены результаты по наблюдению линии поглощения в гетеродинном режиме детектирования, что является имитацией наблюдения линии поглощения в континуальном эмиссионном спектре.

Теоретическим пределом чувствительности гетеродинного спектрометра является квантовый предел, определяющийся дробовыми шумами локального осциллятора. Были экспериментально определены шумовые характеристики системы в терминах шумовой температуры. В случае использования CdHgTe-фотодетектора шумовая температура составила  $T_{\text{noise}} \approx 10^4$  К (при квантовом пределе 1845 К). Данный результат определяется высоким уровнем шумов быстродействующих CdHgTe-фотодетекторов с термоэлектрическим охлаждением и сопоставим с результатами, полученными другими группами<sup>[1]</sup>. Шумовая температура единственного на сегодня применяемого в астрономических наблюдениях гетеродинного спектрометра составляет 3000 К<sup>[2]</sup>.

CdHgTe-фотодетекторы с полосой >500 МГц и удовлетворительным уровнем собственных шумов отсутствуют на рынке. В связи с этим планируется использование крио-охлаждаемого фотоэлектронного болометра на основе эффекта электронного разогрева, совмещенного со спиральной микроантенной, настроенной на длину волны 10 мкм для повышения квантовой эффективности. Уровень шумов таких детекторов приближен к теоретическому минимуму, а полоса пропускания достигает ~5 ГГц. В рамках данной работы исследуются характеристики подобного болометра.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Weidmann D. [et al.] Hollow waveguide photomixing for quantum cascade laser heterodyne spectro-radiometry //Optics express. – 2011. – Т. 19. – №. 10. – С. 9074-9085.
2. Nakagawa H. [et al.] IR heterodyne spectrometer MILAHI for continuous monitoring observatory of Martian and Venusian atmospheres at Mt. Haleakalā, Hawaii //Planetary and Space Science. – 2016. – Т. 126. – С. 34-48.

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В ВЕРХНЕЙ ТРОПОСФЕРЕ, НИЖНЕЙ СТРАТОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ GOMOS (GLOBAL OZONE MONITORING BY OCCULTATION OF STAR)

**К.Р. Гизатуллин<sup>1,2</sup>, Ж.-Л. Берто<sup>3,1</sup>, А.А. Федорова<sup>1</sup>, L. Blanot<sup>4</sup>,  
A. Hauchecorne<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия  
*karim.gizatullin@phystech.edu*

<sup>2</sup> МФТИ, Долгопрудный, Россия

<sup>3</sup> LATMOS, CNRS/UVSQ/IPSL, Гюанкур, Франция

<sup>4</sup> ACRI-ST, София-Антиполис, Франция, София-Антиполис, Франция

**Научный руководитель: Федорова А.А., д.ф.-м.н.**

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

GOMOS - один из трех приборов для изучения атмосферы на борту КА ENVISAT. Он проводит наблюдения вертикальной структуры атмосферы Земли методом звездного просвечивания (J.L. Bertaux et al., 2010) для получения вертикального распределения плотности таких газовых составляющих атмосферы как озон, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O. Для восстановления содержания водяного пара используется канал, работающий в диапазоне 925-955 нм со средним размером пикселя - 0.057 нм.

Как было показано в работе (Susan Solomon et al., 2010) водяной пар вносит существенный вклад в радиационный баланс атмосферы земли. Наибольшее влияние оказывает тропопауза, в которой у прибора GOMOS много достаточно детальных измерений.

В январе 2017 года помощью алгоритма IPF6.01 компанией ACRI-ST были получены данные о плотности водяного пара вдоль луча, на основе данных прибора GOMOS на спутнике Envisat за 2004 год.

Для получения локальной плотности из плотности вдоль луча был разработан алгоритм и произведена инверсия плотности водяного пара на основе новой схемы регуляризации Тихонова, предложенной Quémerais, E. et al. (2006) для звездных просвечиваний эксперимента СПИКАМ УФ на КА Марс-Экспресс (Bertaux et al., 2006).

Представлены новые данные о вертикальном распределении воды в тропопаузе, дополненные данными о плотности на нижних высотах и сравнение результатов с результатами эксперимента Aura MLS (Microwave Limb Sounder) (Read, W. G., et al., 2007).

Работа выполняется при поддержке гранта Правительства РФ №14.W03.31.0017.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bertaux J. L., E. Kyrölä, D. Fussen, A. Hauchecorne, F. Dalaudier, V. Sofieva, J. Tamminen, F. Vanhellefont, O. Fanton d'Andon, G. Barrot, A. Mangin, L. Blanot, J. C. Lebrun, K. Pérot, T. Fehr, L. Saavedra, G. W. Leppelmeier, and R. Fraisse, Global ozone monitoring by occultation of stars: an overview of GOMOS measurements on ENVISAT, Atmos. Chem. Phys., 2010.
2. Susan Solomon, Karen H. Rosenlof, Robert W. Portmann, John S. Daniel, Sean M. Davis, Todd J. Sanford, and Gian-Kasper Plattner. Contributions of stratospheric water vapor to decadal changes in the rate of global warming. Science, 27(5970):1219–1223, 2010.
3. Quémerais, E., J.-L. Bertaux, O. Korabiev, E. Dimarellis, C. Cot, B. R. Sandel, and D. Fussen (2006), Stellar occultations observed by SPICAM on Mars Express, J. Geophys. Res., 111, E09S04, doi:10.1029/2005JE002604.

4. Bertaux, J.-L., et al. (2006), SPICAM on Mars Express: Observing modes and overview of UV spectrometer data and scientific results, *J. Geophys. Res.: Planets* 111(E10): E10S90.
5. Read, W. G., et al. (2007), Aura Microwave Limb Sounder upper tropospheric and lower stratospheric H<sub>2</sub>O and relative humidity with respect to ice validation, *J. Geophys. Res.*, 112, D24S35, doi:10.1029/2007JD008752.

#### **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

GOMOS, атмосфера, водяной пар, AURA MLS.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ИХ К ЗЕМЛЕ

**Я.С. Глущенко<sup>1</sup> , В.Ю. Попов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный, Россия  
fizyamat@gmail.com*

<sup>2</sup> *ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

**Научный руководитель: В Ю. Попов, д.ф.-м.н., проф.**

Физический факультет Московского Государственного Университета, г. Москва, Россия ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия

Одним из факторов, влияющих на формирование верхней атмосферы и ионосферы Земли, и оказывающим воздействие на биосферу, являются приходящие из космического пространства потоки заряженных частиц - галактические космические лучи (ГКЛ) – ядра атомов, ускоренных до энергий от  $10^9$  до  $10^{20}$  эВ. Данная работа посвящена моделированию прохождения заряженных частиц ГКЛ через магнитное поле Земли, а так же оценки их спектров на заданных расстояниях от поверхности Земли - на высотах от 100 до 400 км. Магнитное поле Земли строится с использованием модели IGRF 12.



# МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЖЗВЕЗДНОЙ ПЫЛИ В ГЕЛИОСФЕРЕ

**Е.А. Годенко**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*  
eg24@yandex.ru

**Научный руководитель: Измоленов В.В., д-р физ.-мат. наук, ИКИ РАН, МГУ им. М. В. Ломоносова, ИПМех РАН, Москва, Россия**

В настоящей работе изучается взаимодействие заряженных частиц межзвездной пыли с межпланетным магнитным полем в гелиосфере. Межзвездная пыль проникает в гелиосферу благодаря движению гелиосферы в Местном межзвездном облаке (Local Interstellar Cloud). Главной целью данного исследования является поиск областей повышенной концентрации межзвездной пыли в гелиосфере. Найденные области в полной постановке могут быть полезными при будущих экспериментальных исследованиях частиц пыли.

Математическая постановка задачи формулируется в размерном и безразмерном виде. Проводится анализ возникающих при этом безразмерных параметров. Используется упрощенная постановка задачи без учета сил гравитационного притяжения и радиационного отталкивания, которые также действуют на частицы. При некоторых размерах частиц эти силы взаимно компенсируют друг друга. Фильтрация частиц на гелиопаузе не учитывается. Представляется численное решение поставленной задачи методом Осипцова-Лагранжа и методом Монте-Карло. Метод Осипцова-Лагранжа основан на решении уравнения неразрывности в лагранжевой форме вдоль траекторий частиц. Траектории частиц вычисляются с помощью численного интегрирования уравнений движения методом Рунге-Кутты 4-го порядка. В методе Монте-Карло проводится полная имитация процесса движения частиц пыли в гелиосфере. Расчёты выполняются на сетках разного размера, а также с разным количеством рассматриваемых частиц с целью поиска оптимальных параметров в рамках поставленной задачи. Вычисления производятся для разных безразмерных параметров, которые зависят от радиуса частиц пыли. Диапазон радиусов частиц рассматривается в соответствии с данными, которые были зафиксированы космическими аппаратами. Предложенный метод решения задачи может быть обобщен на случай произвольной астросферы.

# САМОСОГЛАСОВАННАЯ РАДИАЦИОННАЯ ГАЗОДИНАМИКА АККРЕЦИОННЫХ КОЛОНК РЕНТГЕНОВСКИХ ПУЛЬСАРОВ

**М.И. Горностаев, К.А. Постнов**

*Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ,  
Москва, Россия*

*Физический факультет МГУ, Москва, Россия*

Спектральные наблюдения рентгеновских пульсаров, получаемые с помощью орбитальных обсерваторий, по-прежнему требуют теоретической интерпретации. Существующие несамосогласованные модели оказываются недостаточными как по причине отсутствия хорошего согласия с наблюдениями, так и вследствие достижения такого согласия с использованием неоправданно большого числа модельных параметров. Поэтому настоящий проект направлен на создание самосогласованной модели радиационно-доминированной аккреционной колонки, в которой формируются спектры рентгеновских пульсаров при темпах аккреции, превышающих  $\sim 10^{17} \text{ g/s}$ . Новизна исследования заключается в решении кинетического уравнения для излучения одновременно с уравнением Эйлера, уравнением неразрывности и уравнением для электронной температуры. Такой подход позволяет проводить вычисления с использованием сечений рассеяния и поглощения, зависящих от частоты, и учитывать поляризационные эффекты, возникающие в сверхсильном магнитном поле. Сопоставление ожидаемых результатов проекта с современными наблюдательными данными позволит сделать важные выводы о физической природе излучающих областей рентгеновских пульсаров.

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

**Н.Р. Горюнова, А.А. Горюнов**

АО «РКЦ «Прогресс»

taceo@yandex.ru

Анализ современных подходов к разработке изделий космической техники показывает, что для достижения требуемых параметров изделия и сокращения сроков разработки процесс проектирования должен основываться на математических моделях с максимальной отработкой изделия на этих моделях. Это позволяет выявить недостатки изделия и принять необходимые решения по их устранению до изготовления реального опытного образца. Целью работы является разработка математической модели пневмогидравлической системы (ПГС) предназначенной для анализа и расчета гидродинамических и температурных процессов, отработки алгоритмов работы ПГС, анализа взаимодействия ПГС с другими системами ракеты-носителя (РН) на этапах разработки и эксплуатации изделия и анализа работы ПГС в нештатных ситуациях.

Пневмогидравлическая система рассматривается на следующих уровнях:

- системы, на котором описываются схема связей функциональных групп и внешние связи ПГС с другими системами РН (например, системой управления);
- функциональных групп (подсистем), на котором описываются их внутренняя структура и внешние связи с другими группами (подсистемы наддува баков, подачи компонентов топлива и др.);
- элементов, на котором описываются характеристики элементов, составляющих функциональные группы и имеющих самостоятельное назначение (клапаны, регуляторы, теплообменники и др.).

Для каждого из уровней проведен выбор средств разработки, с учетом необходимости использования ранее разработанных математических моделей и возможности создания собственных функциональных блоков в рамках выбранных средств. Для системного уровня и уровня функциональных групп выбрана программа Easy5 из пакета MSC Masterkey, для уровня элементов программа Easy5, а также программы CFX и Mechanical из пакета Ansys.

С помощью выбранных средств разработки построена многоуровневая математическая модель части ПГС жидкостной ракетной двигательной установки (ЖРДУ) блока первой ступени РН, включающая в себя:

- схему взаимодействия ПГС, жидкостного ракетного двигателя и системы управления;
- схему внутренней структуры функциональных групп, обеспечивающих подачу компонентов топлива к двигателям и наддув топливных баков;
- модель управляющих воздействий системы управления на элементы ПГС;
- модель воздействия факторов окружающей среды на функционирование ПГС;
- модель жидкостного ракетного двигателя, основанную на уравнении влияния внешних факторов на характеристики двигателя;
- модели элементов функциональных групп: электропневмоклапанов, дроссельных шайб, газовых и жидкостных магистралей, теплообменников.

В результате расчетов, проведенных на основе разработанной многоуровневой математической модели ПГС, получены следующие результаты:

- определены гидродинамические и температурные характеристики системы;
- определен оптимальный алгоритм управления подсистемой наддува баков, обеспечивающий наименьший необходимый запас газа наддува;
- определено влияние нештатной ситуации (отказа элемента ПГС) на функционирование системы.

# КРИОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ МАРСА НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНОГО РАЙОНА РАВНИНЫ УТОПИЯ

**Е.А. Гришакина**

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
Москва, Россия  
orskatya@mail.ru*

Марс является наиболее интересным и доступным для изучения космическим объектом с точки зрения криологии. Повсеместное распространение мерзлых пород в марсианском грунте позволяет говорить о наличии криолитосферы в отличие от земной криолитозоны. С накоплением данных, собранных как дистанционно, так и прямыми методами, благодаря моделированию физических процессов, появилась возможность применить опыт геокриологического картографирования по отношению к мерзлотным особенностям на Марсе.

Район средних широт Марса характеризуется малой мощностью морозных пород, то есть кровля мерзлых близка к поверхности, наличием геоморфологических образований предположительно термокарстового генезиса и полигональных сетей разных типов.

В процессе составления криологической карты проводится анализ цифровой модели рельефа MOLA, снимков в видимом и инфракрасном диапазонах HIRISE, THEMIS и TES, радиолокационных данных SHARAD, составляется мозаика из снимков камеры CTX, выделяются типичные ландшафты. Далее ведется подсчет кратеров в пределах каждого выделенного контура и путем моделирования определяется относительный возраст геолого-геоморфологических единиц, строится геологическая карта. Затем выполняется тепловой расчет в программе HeatMars (Пустовойт Г.П.) и моделируются мощности слоев морозных, мерзлых и охлажденных пород на основе имеющихся достоверных и вероятных данных по уточненной расчетной модели Комарова И.А., в том числе с использованием данных о температуре поверхности по глобальной марсианской климатической базе данных европейского космического агентства.

Реализация настоящей работы позволяет применить картографический метод для изучения криологии Марса, выявления и подтверждения закономерностей и корреляций между распространением криологических условий, процессов и явлений в региональном масштабе.

# ВНЕДРЕНИЕ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СБОРОК СОВРЕМЕННЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ

**А.В. Гусаров, О.С. Ефрекин, М.Б. Баранов**

*АО РКЦ «Прогресс», Самара, Россия*

*m.r-gusarov@yandex.ru*

В данной статье рассматривается проблема создания эффективного метода контроля геометрических параметров крупногабаритных сборок. Недостаточность данных, получаемых в процессе контроля сборок, с использованием шаблонов, не позволяет оценить в полной мере прецизионные параметры изделия. В настоящей работе разработана и опробована методика контроля сборок современной лазерной измерительной системой, посредством программного обеспечения Spatial Analyzer и Excel проведен анализ данных, полученных после проведения измерения сборок. Определены их фактические геометрические параметры, дается сравнение построенной математической модели с номинальными значениями. Сделаны выводы о преимуществах метода контроля крупногабаритных сборок современными лазерными системами.

Одной из важнейших задач при производстве аэрокосмической техники является контроль геометрических параметров изделий, а вместе с тем, выявление возможных конструктивных и технологических недочетов на всех стадиях производства. Основную роль при выполнении данной задачи играет измерительная система для определения геометрических параметров, так как от выбора такой системы зависит достоверность получаемых данных, скорость и, в наибольшей степени, точность измерения. Анализ существующих методов измерений показал, что контроль геометрии крупногабаритных сборок осуществляется с применением специальных шаблонов, но редко, где посредством лазерных измерительных систем.

Наилучшие результаты при решении таких задач могут быть получены при использовании лазерных координатно-измерительных систем. Эти системы сочетают в себе высокую производительность, точность и информативность полученных результатов измерений. Лазерная координатно-измерительная система, API Radian была выбрана для контроля геометрии крупногабаритных изделий на предприятии АО «РКЦ «Прогресс».

Точность координатно-измерительной системы составляет  $5 \times L$  мкм, где  $L$  – расстояние от измерительной системы до объекта в метрах.

Объектом измерения являлся элемент корпуса научного энергетического модуля (НЭМ), представляющий собой цилиндрическую обечайку.

Отклонения всех измеренных контрольных точек от математической модели по нормали к поверхности составили:

- Максимальная величина внутреннего отклонения: - 7.009 мм.

- Максимальная величина наружного отклонения: +3.739 мм.

Таким образом, применяя данную методику контроля геометрических параметров, при использовании комплекта лазерной измерительной системы, предложенной в статье, была спроектирована математическая модель, измерены координаты точек на поверхности изделия и проведен анализ, на порядок была повышена точность измерения конструкции КА и скорость ее обработки. Полученные результаты отклонения действительной детали от ее математической модели дали представление о геометрических параметрах произведенной детали с высокой точностью.

# МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ГАЗОВ И АЭРОЗОЛЕЙ НОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ И ОБЛАКОВ ВЕНЕРЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СПЕКТРОМЕТРА СПИКАВ

**Д.Г. Евдокимова<sup>1,2</sup>, Д.А. Беляев<sup>1</sup>, А.А. Федорова<sup>1</sup>, Л. Баджио<sup>2</sup>,  
Ф. Мотмессан<sup>2</sup>, Ж.-Л. Берто<sup>1,2</sup>, Э. Марк<sup>2</sup>, О.И. Кораблев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия

*evd.dar@yandex.ru*

<sup>2</sup>LATMOS CNRS

**Научный руководитель: Беляев Д.А., к.ф.-м.н.**

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия

Уникальные данные, накопленные за период измерений спектрометром СПИКАВ [1] на борту аппарата «Венера-Экспресс» (2006-2014 г.), позволяют более детально исследовать структуру и состав атмосферы Венеры, в том числе её ночной стороны.

Для детальных исследований вертикальных профилей газов ночной мезосферы планеты (85-120 км) УФ канал спектрометра работал в режиме звёздных просвечиваний. В этом режиме звезда восходит или заходит за лимб планеты при движении аппарата по орбите, и наблюдается сквозь атмосферу Венеры. Таким образом, спектр звезды содержит полосы поглощения доминирующего в атмосфере газа CO<sub>2</sub> и малых газовых составляющих (SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) [4, 5]. Однако, ряд свечений атмосферы, а именно, свечения Лайман-альфа [2] и газа NO [3], также покрываются спектральным диапазоном СПИКАВ (110-320 нм), увеличивая погрешность восстановления вертикального содержания атмосферных газов. Вклад в погрешность также вносит и отраженный на лимбе планеты солнечный свет. Новый метод, основанный на алгоритме Ричардсон-Люси [6], был применен для разделения звёздного спектра и спектра засветки. Этот метод реализует вычитание засветки из сигнала и обратную свёртку спектра звезды для известных характеристик прибора. Затем, концентрации газов восстанавливаются из полученного спектра звезды. Применение нового алгоритма позволяет получить более уверенный и стабильный результат для профилей концентраций малых газовых составляющих.

Тепловое свечение нижней атмосферы Венеры, различимое только на её ночной стороне, наблюдалось ИК каналом СПИКАВ (1.05-1.7 мкм). Облака Венеры, в основном состоящие из аэрозоля концентрированной серной кислоты H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [7], поглощают излучение в широком диапазоне спектра. Однако существуют «окна прозрачности» в инфракрасном диапазоне [8, 9], в которых дистанционное наблюдение излучения подоблачной атмосферы возможно. Наблюдения показали, что интенсивность в максимуме окна прозрачности 1.28 мкм меняется от 0.05 до 0.1 Вт/м<sup>2</sup>/мкм/страд. Кроме того, его излучение модулируется только рэлеевским рассеянием CO<sub>2</sub> атмосферы и рассеянием в облачном слое. Используя модель радиационного переноса с учетом многократного рассеяния и программу SHDOMPP, реализующую метод дискретных ординат в одномерном приближении [10, 11, 12, 13], на основании модели Haus et al., 2016 [14], показано, что вариации содержания аэрозоля нижнего слоя облаков вносят наибольший вклад в изменение интенсивности окна 1.28 мкм. Таким образом, возможно изучение вариаций аэрозоля нижнего слоя облаков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bertaux J.-L. et al., 2007. SPICAV on Venus Express: Three spectrometers to study the global structure and composition of the Venus atmosphere. *Planet. Space Sci.*, 55. 1673-1700.
2. Chaufray J.-Y. et al., 2015. Observations of the nightside venusian hydrogen corona with SPICAV/VEX. *Icarus*, 262. 1-82.
3. Royer, E. et al., 2010. NO emissions as observed by SPICAV during stellar occultations. *Planet. Space Sci.*, 58. 1314-1326.

4. Belyaev, D. et al., 2017. Night time distribution of SO<sub>2</sub> content in Venus' upper mesosphere. *Icarus*, 294. 58-71.
5. Montmessin F. et al., 2011. A layer of ozone detected in the nightside upper atmosphere of Venus. *Icarus*, 216. 82-85.
6. Richard L. White., 1994. Image restoration using the damped Richardson-Lucy method. *The Restoration of HST images and spectra II*. Space Telescope Science Institute.
7. Esposito L.W. et al., 1997. Chemistry of lower atmosphere and clouds. *Venus II*, The University of Arizona Press. 415-458.
8. D. Crisp, 1989. Radiative forcing of the Venus mesosphere. *Icarus*, 77. 391-413.
9. Pollack J.B., et al., 1993. Near-infrared light from Venus' nightside: a spectroscopic analysis. *Icarus*, 103. 1-42.
10. Evans, K. F., 1998. The spherical harmonic discrete ordinate method for three-dimensional atmospheric radiative transfer. *J. Atmos. Sci.*, 55. 429-446.
11. Bezard B. et al., 2009. Water vapor abundance near the surface of Venus from Venus Express/VIRTIS observations. *J. Geophys. Res.*, 114. E00B39.
12. Bezard B. et al., 2011. The 1.10- and 1.18- $\mu\text{m}$  nightside windows of Venus observed by SPICAV-IR aboard Venus Express. *Icarus*, 216. 173-183.
13. Fedorova et al., 2014. The CO<sub>2</sub> continuum absorption in the 1.10- and 1.18- $\mu\text{m}$  windows on Venus from Maxwell Montes transits by SPICAV IR onboard Venus Express. *Planetary and Space Science*, 113-114. 66-77.
14. Haus R. et al., 2016. Radiative energy balance of Venus based on improved models of the middle and lower atmosphere. *Icarus*, 272. 178-205.

# АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ТОКОВ ПО ДАННЫМ МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ЦЕПОЧКИ МАГНИТОМЕТРОВ

**М.А. Евдокимова, А.А. Петрукович**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*  
evdokimari@mail.ru

**Научный руководитель: Петрукович А.А., д.ф.-м.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

В работе исследуются модели восстановления профиля западного электроджета по данным магнитного поля меридиональной цепочки магнитометров. Эта задача представляет интерес в связи с тем, что данные магнитного поля известны в конечном, довольно небольшом количестве точек. Сделан обзор существующих линейных моделей и показана их применимость на сети IMAGE. В первой модели (A.L. Kotikov, Yu.O. Latov and O.A. Troshichev, 1987) токи представляются в виде бесконечно тонких проводов. Во второй (V.A. Popov, V.O. Papitashvili, J. F. Waterman, 2001) электроджет моделируется последовательностью узких бесконечно длинных полос. Оптимальной является модель с большим числом равномерно проводов (полос). Однако, большое число параметров (токов) приводит к большим ошибкам, и на более разреженной сети станций описанные методы плохо применимы. Для малого количества станций оптимальной является нелинейная модель с малым числом некоррелированных параметров. Была построена модель одной полосы с тремя параметрами и проведен ее тест на малом количестве станций. Показано, как положение станций относительно границ электроджета влияет на параметры модели.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kotikov A. L., Latov Yu. O., Troshichev O. A., Structure of auroral electrojets by the data from a meridional chain of magnetic stations, *Geophysica*, 1987, V. 23, P. 143-154.
2. Popov V. A., Papitashvili V. O., Watermann J. F., Modeling of equivalent ionospheric currents from meridian magnetometer chain data, *Earth Planets Space*, 2001, V. 33, P. 129-137.



# ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗУЕМОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЗЗ РАЗЛИЧНОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО И ВРЕМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

**Е.С. Ёлкина, Д.Е. Плотников, С.А. Барталёв, Е.А. Лупян**  
*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия  
elkina@d902.iki.rssi.ru*

**Научный руководитель: Барталёв С.А., д.т.н., профессор**  
*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

В 2016 году в России принят закон об изъятии для возврата в оборот земель сельскохозяйственного назначения (ЗСН) в случае их ненадлежащего использования. Решение этой задачи сопряжено с необходимостью получения контролирующими организациями актуальной и точной информации о неиспользуемых землях. Одним из эффективных путей получения такого рода информации является использование методов дистанционного зондирования из космоса.

Предлагаемая методика оценки используемости ЗСН основана на анализе разновременных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения, а также временных рядов вегетационного индекса NDVI и тематических карт, получаемых по данным среднего пространственного разрешения на регулярной основе. Спутниковые данные и инструменты анализа доступны в системе дистанционного мониторинга растительности ВЕГА (sci-vega.ru), на базе которой проводится работа. Разделение обрабатываемых и неиспользуемых земель основано на выявлении различий в межсезонной динамике спектральной яркости объектов. Постоянная изменчивость – главная черта обрабатываемых земель. Обработка почвы в начале и/или конце сезона, короткий вегетационный период посевов, резкое изменение биомассы на полях в течение сезона – признаки используемой пашни, которые находят отражение в изменении яркостей пикселей поля. Неиспользуемые земли, в свою очередь, отличаются достаточно низкой динамикой изменений спектрально-яркостных характеристик в течение вегетационного периода.

В докладе освещаются существующие подходы к распознаванию неиспользуемых земель с помощью спутниковых данных, проблемы их дешифрирования, рассматриваются преимущества и ограничения предлагаемого подхода, представляются промежуточные результаты его практического использования.

# РЕЗОНАНСНОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ ТОЛСТЫЕ ГРАДИЕНТНЫЕ БАРЬЕРЫ

**Н.Н. Ерохин**

*Институт физики Земли РАН, Москва, Россия  
perok1986@gmail.com*

**Научный руководитель: Похотелов О.А., д.ф.-м.н.**

*Институт физики Земли РАН, Москва, Россия*

На основе аналитических и численных расчетов рассмотрены точно решаемые модели резонансного туннелирования волн (безотражательное распространение) через градиентные барьеры большой толщины, которое возможно для различных типов волн включая электромагнитные волны в неоднородной плазме и неоднородных диэлектриках, акустические волны, например, в земной атмосфере, внутренние гравитационные волны. Согласно изложенной ранее методике при исследовании резонансного туннелирования волны с частотой  $\omega$  в плазме выбирается пространственный профиль безразмерного волнового вектора  $p(\xi)$ , где  $\xi = \omega x / c$ ,  $x$  – направление неоднородности, а  $p(\xi) > 0$ . Функция  $p(\xi)$  определяет для электромагнитной волны пространственный профиль эффективной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_{ef}(\xi)$  в точном решении на основе нелинейного уравнения. Затем меняя входящие в  $p(\xi)$  параметры варьируем профиль  $\varepsilon_{ef}(\xi)$ . В отличие от ранее рассмотренных вариантов исследован (в рамках указанной модели) также профиль безразмерной плотности плазмы  $v(\xi) = (\omega_{pe} / \omega)^2$ . Здесь для электромагнитных волн в плазме  $\omega_{pe}$  – электронная ленгмюровская частота. Поскольку по определению  $v(\xi)$  неотрицательно выбор исходных параметров задачи и профилей  $p(\xi)$  должен соответствовать этому условию, что будет несколько ограничивать диапазоны их вариаций. Важно, что точное решение содержит и произвольную функцию в волновом векторе  $p(\xi)$ . Следовательно, в задаче возможны различные типы неоднородности. Кроме того использованный в анализе выбор решения для  $p(\xi)$  будет соответствовать автоматическому выполнению условий сшивки тангенциальных компонент волновых полей на границах слоя плазмы конечной толщины с вакуумом при безотражательном взаимодействии падающей поперечной электромагнитной волны с неоднородным плазменным слоем произвольной толщины.

В докладе описан ряд новых вариантов безотражательного взаимодействия электромагнитной волны, распространяющейся поперек внешнего однородного магнитного поля, с неоднородным плазменным слоем, который содержит субслои с горбами плотности плазмы. Показаны возможности возникновения сильных всплесков амплитуды волны в некоторых слоях плазмы, а также больших вариаций фазовой скорости волны и плотности плазмы. Исследуемый эффект безотражательного распространения волн через сильно неоднородную среду представляет большой интерес для ряда практических приложений, например, передачи энергии и сигналов сквозь слои плотной плазмы, корректной трактовки результатов наблюдений электромагнитного излучения в астрофизике, для эффективного нагрева достаточно плотной плазмы, ускорения заряженных частиц электромагнитными волнами и т.д.

# ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ЗВЕЗДНОГО ВЕТРА И РАДИАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ У ЗВЕЗД РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ КЛАССОВ

**М.С. Жарикова, А.Б. Струминский, А.М. Садовский**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

*Московский физико-технический институт, Москва, Россия*

*mariyazharikova96@yandex.ru*

**Научный руководитель: Струминский А.Б., д. ф.-м. н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

*Московский физико-технический институт, Москва, Россия*

Звездные и галактические космические лучи (СКЛ и ГКЛ) являются основными факторами, определяющими радиационные условия вблизи экзопланет. Спектр ГКЛ и его временные вариации определяются модуляцией в звездной сфере – параметрами звездного ветра и локальной межзвездной среды. Предполагается обобщить модель Паркера, на основе которой сделаны оценки для некоторых звезд [1] [2], для звезд различных спектральных классов, включая горячие O-B, A звезды. Также предполагается представить оценки из модели Паркера для скорости и плотности горячего звездного ветра, размера астросферы для различных температур короны, необходимых фотосферных и корональных магнитных полей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Parker, E. N. Cosmic-Ray Modulation by Solar Wind 1958, PhRev, vol. 110, Issue 6, p. 1445*
2. *Struminsky, Alexei; Sadovski, Andrei; Belov, Anatoly Cosmic Rays near Proxima Centauri b 2017arXiv170406168S*

# РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ФОРМ РЕЛЬЕФА МЕРКУРИЯ ПО ЦМР

**А.Ю. Жаркова<sup>1,2</sup>, А.А. Коханов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Московский государственный университет геодезии и картографии (MEsLab, МИИГАиК), Москва, Россия  
a\_zharkova@miigaik.ru

<sup>2</sup>Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга (ГАИШ, МГУ), Москва, Россия

**Научный руководитель: Карачевцева И.П., к.т.н.**

Московский государственный университет геодезии и картографии (MEsLab, МИИГАиК), Москва, Россия

Расчёт морфометрических параметров рельефа с помощью ЦМР используется в геоморфологических исследованиях небесных тел, помогая выявить общие закономерности формирования деталей рельефа. Их отображение на картах позволяет наглядно продемонстрировать те особенности поверхности планет, которые на космических снимках не видны. Примером таких структур могут служить т.н. лунные криптоморья – древние равнины, покрытые более свежими кратерами и следами вторичных выбросов [1].

До сих пор при создании геоморфологических карт используется визуальный анализ морфометрических параметров. Разработка автоматизированной геоморфологической классификации типов поверхности Меркурия от гладких вулканических равнин до горных массивов представляется актуальной задачей в связи с готовящейся миссией VeriColombo (2018). Для выявления соответствий между цифровыми значениями морфометрических параметров и конкретными формами рельефа средствами ПО ArcGIS нами выполнены расчёты по ЦМР Меркурия с разрешением 665 м/пиксель [2].

Для оценки морфометрических параметров использовались два алгоритма: межквартильный размах второй производной высот (Лапласиана), выявляющий общие закономерности распределения форм мегарельефа [3], и относительная топографическая позиция, указывающая на вогнутые и выгнутые участки поверхности [4].

Результаты расчетов использованы для автоматизированного составления геоморфологических карт. С помощью межквартильного размаха Лапласиана составлена глобальная карта морфометрических параметров поверхности Меркурия, отражающая общее распределение гладких и кратерированных территорий. Выполненная на основе расчетов классификация типов рельефа верифицирована по достоверно известным границам вулканических равнин [5]. Карта Меркурия, полученная с помощью расчетов относительной топографической позиции, может быть использована для более детальных исследований поверхности, например, при выявлении отдельных форм рельефа, например, уступов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kreslavsky et al., (2013) Lunar topographic roughness maps from Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA) data: Scale dependence and correlation with geologic features and units, Icarus. Vol. 226. Issue 1. P. 52-66. DOI: 10.1016/j.icarus.2013.04.027.
2. Жаркова и др., (2016) Исследование поверхности Меркурия картографическими методами с использованием новейших топографических данных, полученных на основе обработки изображений КА MESSENGER, Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Т.13, №5, С. 265-274. [http://d33.infospace.ru/d33\\_conf/sb2016t5/265-274.pdf](http://d33.infospace.ru/d33_conf/sb2016t5/265-274.pdf).
3. Коханов и др., (2013) Картографирование топографической расчлененности поверхности Луны на основе глобальной цифровой модели рельефа GLD100, Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т.10. № 4. С. 136–153.
4. Jenness (2006) Topographic Position Index (TPI) v 1.2. Jenness Enterprises. [http://www.jennessent.com/downloads/TPI\\_Documentation\\_online.pdf](http://www.jennessent.com/downloads/TPI_Documentation_online.pdf)
5. Denevi et al., (2013) The distribution and origin of smooth plains on Mercury, Journal of Geophysical Research. Vol. 118. Issue 5. P. 891–907. DOI: 10.1002/jgre.20075.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УСКОРЕНИЯ И ПЕРЕНОСА ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ В НЕЛИНЕЙНЫХ МАГНИТОПЛАЗМЕННЫХ СИСТЕМАХ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

**Е.Е. Жукова<sup>1</sup>, В.Ю. Попов<sup>1,3</sup>, Х.В. Малова<sup>1,2</sup>, Е.Е. Григоренко<sup>1</sup>,  
А.А. Петрукович<sup>1</sup>, Л.М. Зеленый<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия, г. Москва  
jookove@mail.ru*

<sup>2</sup>*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

<sup>3</sup>*Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

**Научный руководитель: Попов В.Ю., профессор**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия, г. Москва*

Работа посвящена исследованию процессов ускорения частиц плазмы в тонких токовых слоях, которые образуются во время магнитосферных суббурь в хвосте магнитосферы Земли. Построена и исследована численная модель магнитной диполизации, сопровождающейся плазменной турбулентностью. Модель позволяет изучать ускорение частиц в результате действия трех основных механизмов: (1) плазменной турбулентности; (2) магнитной диполизации; (3) их одновременного действия. Для заданных начальных каппа-распределений по скоростям получены энергетические спектры ускоренных частиц трех сортов: протонов  $p^+$ , ионов кислорода  $O^+$  и электронов  $e^-$ . Показано, что комбинированный механизм диполизации с турбулентностью (3) способствует наибольшему набору энергии частиц многокомпонентной плазмы по сравнению с отдельным воздействием каждого из механизмов (1) и (2), при этом электроны ускоряются в меньшей степени. Учет совместного действия механизмов ускорения (1) и (2) может объяснить появление в хвосте магнитосферы Земли частиц с энергиями порядка сотен кэВ.

# РОЛЬ ФОТОМЕТРИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

**А.А.Заверзаев**<sup>1,3</sup>, **А.О. Жуков**<sup>1,2,3</sup>, **Ю.Г. Харламов**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>АО «ОКБ МЭИ», Россия

[zaverzaevaleksandr010191@mail.ru](mailto:zaverzaevaleksandr010191@mail.ru)

<sup>2</sup>Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ, Москва, Россия

<sup>3</sup>ФГБНУ «Аналитический центр», Россия

**Научный руководитель: Жуков А.О., д.т.н.,**

АО «ОКБ МЭИ», Государственный астрономический институт им.

П.К.Штернберга МГУ, ФГБНУ «Аналитический центр», Россия

[aozhukov@mail.ru](mailto:aozhukov@mail.ru)

Интенсивное освоение космического пространства за более чем полувековой период привело к проблеме спутникового мониторинга. На сегодняшний день в околоземном космическом пространстве каталогизировано более 20 000 космических объектов с размерами до 10 см. Основываясь на анализе данных о запусках КА, аварийных ситуациях в космосе приведших к разрушению космических объектов, проведенных испытаниях противоспутниковых систем специалисты оценивают количество элементов космического мусора размером до 1 см более 250 000. Достаточно малое количество систематически сопровождаемых мало-размерных элементов связано с ограниченными техническими возможностями наземных средств наблюдения космических объектов. Фактически все космические объекты наблюдаются с помощью оптико-электронных средств (ОЭС) с высокоинформативными, цифровыми, управляемыми ПЗС-камерами, что позволяет значительно расширить возможности ОЭС по получению фотометрических измерений.

Большинство существующих методов фотометрии основаны на использовании классических фотометров с фотоэлектронными умножителями. На данных измерениях реализованы стандартные фотометрические каталоги опорных звезд и стандартные методики редукации фотометрических измерений.

Сложившаяся ситуация привела к нарушению стандартизации фотометрических измерений и как следствие к снижению эффективности ее использования не только при решении мониторинга околоземного пространства, но и в фундаментальных исследованиях. К сожалению, в ПЗС-фотометрии космических объектов фактически отсутствуют методики стандартизации серий измерений, полученных на одном измерительном средстве в течение длительного интервала времени, и тем более на различных измерительных средствах. Все это привело к необходимости проведению научных исследований, в области стандартизации ПЗС-фотометрии космических объектов.

# ПРИМЕНЕНИЕ СОЗДАННОГО ЭЛЕКТРОННОГО МОРФОМЕТРИЧЕСКОГО КАТАЛОГА ЛУННЫХ КРАТЕРОВ ОТ 1 ДО 10 КМ В ДИАМЕТРЕ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

**И.Ю. Завьялов, Н.А. Козлова, М.М. Коленкина**

*Комплексная лаборатория исследования внеземных территорий, МИИГАиК, Москва, Россия*  
*ZavyalovMex@yandex.ru*

С 2016 года мы ведем работы по созданию каталога лунных кратеров диаметром от 1 до 10 км. Теперь, когда каталог полностью закончен, он дает возможность глобального морфометрического анализа лунной поверхности. Аналогичные работы приводились только для кратеров всей Луны больше 10 км и в них рассматривались такие параметры, как наличие и четкость вала, наличие центральной горки, наличие террас и обрушений, лавы, а так же характер дна. Часть этих параметров не подходит для более мелких кратеров, рассматриваемых в данном исследовании, так, например, горки, являются атрибутом кратеров диаметром свыше 10 км и у малых кратеров почти не встречаются.

Морфометрические параметры кратеров вычисляются специализированными программными модулями по цифровой модели рельефа Луны. Автоматизированный и статистический анализ выполняется средствами ArcGIS. В отдельных случаях применяется программа CraterStats, позволяющая проводить сравнения полученных распределений с теоретическими моделями эволюции поверхности. Кроме базовых морфометрических величин, был проведен расчёт объема кратеров, который служит вспомогательной величиной для определения возраста и является подтверждающим параметром при расчёте соотношения глубины к диаметру.

Таким образом, в качестве морфометрических характеристик для данного каталога использовались: отношение глубины к диаметру (относительная глубина), высота вала и объем кратера. На основе этих данных проведено сравнение кратеров различных районов, а именно полярных, морских и материковых областей, а так же бассейна Южный полюс – Эйткен. Результаты могут многое рассказать о различии этих областей и об их особенностях, а так же о самих кратерах этих областей.

Созданный каталог позволяет проводить ГИС-анализ кратерированности и тематическое картографирование Луны. Так, например, с помощью инструмента ArcGIS “Kernel density” была вычислена плотность кратеров различного размера на территории всей Луны.

Результаты морфометрического анализа будут востребованы для проведения фундаментальных исследований: относительная глубина кратеров важна для изучения склоновых процессов, а опробованные и оптимизированные методики морфометрического анализа на основе каталогов кратеров могут применяться для сравнительно-планетологического исследования Луны и других небесных тел земной группы. Результаты исследования будут доступны на Геопортале планетных данных МИИГАиК (<http://cartsrv.mexlab.ru/geoportal/>).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-37-00323 мол\_а.

# АДАПТАЦИЯ ЧИСЛЕННОЙ ЭФЕМЕРИДЫ DE К ПОСТРОЕНИЮ ТЕОРИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ЛИБРАЦИИ ЛУНЫ

**А.А. Загиддуллин<sup>1</sup>, В.С. Усанин<sup>1</sup>, Н.К. Петрова<sup>2</sup>, Ю.А. Нефедьев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казанский Федеральный Университет

*arhtur.zagidullin@yandex.ru*

<sup>2</sup>Казанский Государственный Энергетический Университет

**Научный руководитель: Нефедьев Ю.А., д.ф.м.н., профессор**

*Казанский Федеральный Университет*

Одним из этапов в построении теории вращения Луны [1] является анализ точности полученных результатов путем сравнения с результатами других авторов. В представленном исследовании мы приводим алгоритм извлечения с необходимой точностью параметров физической либрации Луны из эйлеровых углов, задаваемых численной эфемеридой DE421 [2]. Для анализа полученных данных мы сравнили их с данными полуэмпирической теории Рамбо и Вильямса [3]. Поскольку в теории Рамбо и Вильямса результаты приведены с миллисекундной точностью, то ожидаемые результаты должны иметь, как минимум, такую же точность.

Главным фактором в процессе достижения необходимой точности, как показали наши исследования, является корректный учет прецессии. Величина амплитуды остаточных разностей составила в либрационных углах  $\sigma$  и  $\rho$  0.2 угловых секунд на интервале 150 лет, а в угле  $\tau$  1.3 угловых секунд.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zagidullin A., Petrova N., Nefed'ev Yu. Theory rotational of the Moon in the framework of the main problem // The Seventh Moscow Solar System Symposium 7M-S3 : Abstracts. \_lineaa : EEE .AI, 2016. \_ P. 225\_227.
2. Folkner W. M., Williams J. G., Boggs D. H. The Planetary and Lunar Ephemeris DE 421. \_Pasadena : Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 2008.
3. Rambaux N., Williams J. G. The Moon's physical librations and determination of their free modes // Celest. Mech. Dyn. Astr. \_ 2011. \_ Vol. 109. \_ P. 85\_100.



# ИЗМЕРЕНИЯ КРАСНЫХ СМЕЩЕНИЙ ДАЛЕКИХ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК ИЗ ВТОРОГО КАТАЛОГА ИСТОЧНИКОВ СЮНЯЕВА-ЗЕЛЬДОВИЧА ОБСЕРВАТОРИИ ИМ. ПЛАНКА

**И.А. Зазнобин, Р.А. Буренин**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*  
zaznobin@iki.rssi.ru

**Научный руководитель: Буренин Р.А., к.ф.-м.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

В докладе описывается процедура поиска кандидатов в далекие скопления галактик из второго каталога источников Сюняева-Зельдовича (Planck Collaboration 2016, A&A) обсерватории им. Планка, расположенных на красных смещениях  $0.6 < z < 0.9$ . Для поиска кандидатов в далекие скопления галактик получены фотометрические калибровки красных смещений скоплений галактик для красных смещений  $0.6 < z < 0.9$ . Использовались спектроскопические красные смещения скоплений галактик из второго каталога источников Сюняева-Зельдовича и каталога 400d (Burenin et al. 2007, ApJ) для 35 скоплений галактик на красных смещениях  $0.6 < z < 0.9$ . Показано, что точность фотометрической оценки красных смещений далеких скоплений галактик составляет  $\delta z / (z+1) = 0.03$ . К настоящему времени, используя данную калибровку, получены оценки красных смещений 7 скоплений галактик из второго каталога источников Сюняева-Зельдовича на красных смещениях  $0.7 < z < 0.9$  и измерены их красные смещения. Так же описаны процессы обработки наблюдательных данных и процедура измерения красных смещений скоплений галактик, полученных на телескопах БТА (САО РАН), АЗТ-ЗЗИК (ССО ИСЗФ СО РАН), РТТ-150 (Tubitak).

# КОМПАКТНЫЙ ГЕТЕРОДИННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ CO<sub>2</sub> АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ В БЛИЖНЕМ ИК-ДИАПАЗОНЕ

**С.Г. Зеневич, А.Ю. Климчук, В.М. Семенов., Д.В. Чурбанов**  
*Московский физико-технический институт (Государственный университет), Москва, Россия*  
zenevich09@mail.ru

**Научный руководитель: Родин А.В., к. ф.-м. н.**  
*Московский физико-технический институт (Государственный университет)*  
ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

Наблюдаемое в течение двух столетий повышение концентрации парниковых газов, которое связывают со сжиганием ископаемого углеводородного топлива, послужило основанием заключения ряда международных соглашений, которые, в свою очередь, накладывают серьезные ограничения на индустриальное развитие ведущих стран. Национальные интересы России требуют развития собственной научной экспертизы в этой сфере, в частности, создания системы контроля и прогноза эмиссии парниковых газов. На сегодняшний день, наблюдаемый темп прироста концентрации парниковых газов затрудняет разработку глобальных климатических моделей и построение долгосрочных прогнозов. Для того, чтобы это стало возможно, необходимо создание глобальной сети станций мониторинга, которые способны измерять концентрацию парниковых газов и восстанавливать их вертикальное распределение.

В 2004 году по инициативе США для валидации спутниковых данных была основана сеть глобальных мониторинговых станций TCCON на основе Фурье-спектрометров Bruker-125HR. Эти станции способны восстанавливать вертикальное распределение основных парниковых газов, однако имеющиеся 28 станций обладают недостаточным измерительным покрытием поверхности Земли, даже если включить в этот же список действующие спутниковые миссии.

Отсюда следует необходимость создания более дешевых, компактных и не уступающих по своим измерительным характеристикам приборов. Это подтверждается активной разработкой портативных спектрометров за последнее десятилетие.

Мы представляем улучшенную конфигурацию гетеродинного спектрометра ближнего ИК диапазона. В данной конфигурации мы значительно переработали и улучшили подсистемы спектрометра, отвечающие за стабилизацию частоты диодного лазера, процедуру обработки гетеродинного сигнала и процедуру слежения за Солнцем. Эти модификации привели к повышению стабильности лазера, избавлению сигнала от нелинейности и способности заводить в оптическое волокно более мощный солнечный сигнал.

Измерения спектров поглощения проводились в г. Долгопрудном, на крыше корпуса прикладной математики МФТИ. Полученные спектры демонстрируют хорошее совпадение модельного и измеренного контуров на всем интервале спектра, включая максимум поглощения. На основе измеренных спектров поглощения и использования других моделей, например, вертикального распределения температуры и давления, теоретики лаборатории прикладной инфракрасной спектроскопии восстанавливают вертикальное распределение концентрации CO<sub>2</sub> и высотный профиль проекции ветра. Восстановленные профили находятся в хорошем согласии с данными реанализа.

Дальнейшая доработка прибора предполагает замену конечного тракта на специализированный сигнальный процессор, улучшение массово-габаритных характеристик и разработку автономной системы слежения за Солнцем для установки прибора на мобильных платформах, в частности, исследовательских морских и воздушных судах.

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРИЕМНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ТГЦ-ДИАПАЗОНА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПЛАНАРНЫХ СТРУКТУР С ДИОДАМИ ШОТТКИ

**Т.Л. Зильберлей<sup>1</sup>, Н.С. Каурова<sup>2</sup>, Б.М. Воронов<sup>2</sup>, Ю.В. Лобанов<sup>1,2</sup>, И.В. Третьяков<sup>1,2</sup>, А.С. Шураков<sup>2</sup>, А.А. Корнеев<sup>1,2</sup>, А.В. Родин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, Россия  
asiris7777@mail.ru*

<sup>2</sup> *Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия*

**Научный руководитель: Корнеев А.А., д.ф.-м.н.**

Дистанционное зондирование наиболее часто применяется в метеорологии, геодезии, картографировании, мониторинге поверхности земли и океана. Зондирование в ТГц диапазоне частот позволяет исследовать слои атмосферы, обеспечить высокую чувствительность радиометров, дополнить измерения фазового состава облаков и осадков в области размеров частиц от 30 мкм до 1 мм. Метод недопустим для дистанционного зондирования оптического, ближнего ИК- и миллиметрового диапазонов. В качестве детектора сигнала ТГц диапазона можно использовать диод Шоттки. Он может быть выполнен в виде дискретного элемента, который монтируется в высокочастотную передающую линию. Преимущества диодов Шоттки на частотах от 500 ГГц до 1 ТГц в том, что они имеют высокое быстродействие, работают при комнатной температуре, в то время как альтернативные детекторы-НЕВ (Hot Electron Bolometer), SIS (Superconductor–Insulator–Superconductor) требуют охлаждения до гелиевых температур.

Настоящая работа посвящена разработке технологии монтажа планарных структур с диодами Шоттки в высокочастотную передающую линию для чего, в первую очередь, была разработана технология изготовления тестовых чипов с геометрическими размерами реальных структур - 30:70:20 мкм<sup>3</sup>. Благодаря этому можно было отработать технологию интегрирования с диодами Шоттки в планарную передающую линию.

Тестовые чипы изготавливались на основе подложки SOI (кремний на изоляторе). На лицевой стороне формируется сам чип, а с обратной стороны - вытравливается до стоп-слоя SiO<sub>2</sub>. Таким образом получаем тестовые чипы, с помощью которых будет отрабатываться технология поверхностного монтажа.

Также нами была разработана и изготовлена подложка с индиевыми контактными площадками, которая играет роль передающей линии при отработке технологии интегрирования. Для этого были сформированы знаки совмещения под фото- и электронную литографию с дальнейшим формированием индиевых контактов lift-off методом под flip-chip технологию монтажа.

В результате был разработан и опробован технологический маршрут и были изготовлены тестовые чипы для отработки процесса микросборки, а также разработана и изготовлена подложка с индиевыми контактными площадками, на которые осуществляется монтаж чипа.

Разработанную технологию планируется применить в гетеродинном спектрометре «Иволга» проекте «Венера-Д».

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОНАЛЬНЫХ ТЕЧЕНИЙ ДВУМЕРНОЙ МАСШТАБО-ИНВАРИАНТНОЙ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ПЛАЗМЕ НА БЕТА-ПЛОСКОСТИ

**Т.А. Зиняков<sup>1,2</sup>, А.С. Петросян<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Московский Физико-Технический Институт, Москва, Россия  
*zinyakov@phystech.edu*

<sup>2</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

**Научный руководитель: Петросян А.С., д.ф.-м.н.**

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

Работа посвящена изучению двумерной магнитно-гидродинамической турбулентности в космической и астрофизической плазме в приближении бета-плоскости. Используется уравнение эволюции завихренности несжимаемой вязкой проводящей жидкости во вращающейся системе отсчета и уравнение эволюции магнитного потенциала, полученные из классической системы уравнений магнитной гидродинамики. Система уравнений описывает динамику стратифицированного проводящего слоя на звездах (в том числе и солнечный тахоклин) и динамику магнитоактивной атмосферы экзопланет.

Для решения уравнений используется псевдоспектральный метод решения, основанный на быстром преобразовании Фурье. Авторами был создан код с использованием языка программирования C++ и архитектуры параллельных вычислений CUDA, а также проведены тестовые расчеты на квадратных сетках 256x256, 512x512 и 1024x1024 с периодическими граничными условиями.

В отсутствии магнитного поля, при наличии стохастических, однородных и изотропных возмущений в среднем диапазоне длин волн и силы Кориолиса в приближении бета-плоскости, показано образование зональных течений и явление обратного каскада энергии. Показано образование зональных течений при наличии слабого внешнего магнитного поля. При увеличении внешнего магнитного поля обратный каскад останавливается, энергия сохраняется в малых масштабах, не происходит образование зональных течений.

# АНАЛИЗ ВОЗРАСТАНИЙ ПОТОКОВ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В АВРОРАЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЭПРОН

**И.А. Золотарев<sup>1</sup>, В.В. Бенгин<sup>1,2</sup>, О.Ю. Нечаев<sup>1</sup>, М.И. Панасюк<sup>1,3</sup>,  
В.Л. Петров<sup>1</sup>, И.В. Яшин<sup>1</sup>, А.М. Амелюшкин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

*brilkov@sinp.msu.ru*

<sup>2</sup> ИМБП РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Физический факультет МГУ им. Ломоносова, Москва, Россия

Эксперимент ДЭПРОН на борту спутника Ломоносов проводится для изучения радиационных условий на солнечно-синхронной полярной орбите, высотой около 500 км. ДЭПРОН позволяет получить с секундным разрешением динамику накопления поглощенной дозы от протонов и электронов космического излучения, а также скорости счета тепловых нейтронов. В результате проведения эксперимента по мониторингу радиационных условий получена подробная информация при пролетах внешнего радиационного пояса. Измерены потоки высокоэнергичных электронов и мощности дозы во внешнем радиационном поясе. Возмущения геомагнитного индекса АЕ связаны с повышением суточной дозы во внешнем радиационном поясе. Кратковременные возрастания потоков релятивистских электронов наблюдаются с ночной стороны магнитосферы. Такие возрастания потоков электронов вносят до 25% вклада в дозу во внешнем радиационном поясе.

# АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ К ЗАДАЧЕ ВЫПОЛНИМОСТИ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ

**С.В.Илларионова**

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*  
*illarionovasvetlana@yandex.ru*

**Научный руководитель: Шуплецов М.С., к.ф.-м.н.**

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

Планирование космических миссий является задачей выполнимости, формализованной как дедукция. При конкретном наборе входных параметров, которые могут принимать значение либо истина, либо ложь, требуется определить конечный результат некоторого процесса. Зависимость значений параметров и конечного результата может быть представлена в виде конъюнктивной нормальной формы (КНФ). Для задачи определения выполнимости функции (возможности принятия истинного значения) может потребоваться перебор всевозможных комбинаций параметров, осуществление которого не всегда возможно. Так, для планировании космических миссий число рассматриваемых параметров может варьироваться в пределах 10 тысяч переменных.

Для полного перебора значений, принимаемых переменными, потребуется около  $10^7$  в  $3010$  степени операций [1]. В связи с этим актуальной задачей является возможность при наименьшем числе операций определить выполнимость рассматриваемой функции.

Время проверки выполнимости булевых формул зависит от используемого алгоритма SAT-решателя и его параметров. Целью работы является построение алгоритма для определения наилучшего SAT-решателя и соответствующих ему параметров, в зависимости от структурных характеристик рассматриваемых булевых формул, которыми представлена задача планирования космических миссий. Для решения данной проблемы используются методы машинного обучения такие, как градиентный бустинг и нейронные сети.

В качестве набора данных для построения модели обучения используются комбинации нескольких разновидностей алгоритмов SAT-решателей и структурных признаков полученных из КНФ. Параметры SAT-решателей отбираются по дискретной сетке и используются в качестве признаков. Структурными признаками КНФ являются характеристики графов (XOR, AND, Clause - графов [2]), которые можно выделить, применяя различные графовые алгоритмы. В качестве наборов КНФ для решения поставленной задачи используются бенчмарки и данные с соревнований по SAT-решателям. Дополнительными признаками для классификации также является информация из предметной области об особенностях изучаемого объекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kumar, DARPA, Modern SAT Solvers: Key Advances and Applications
2. Enrique Matos Alfonso, Increasing the Robustness of SAT Solving with Machine Learning Techniques

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ «ГОРЯЧЕГО ЮПИТЕРА» HD 209458B ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ СКВОЗЬ КВМ С МАЛЫМ УГЛОМ РАСТВОРА

**Е.А. Ильина<sup>1,2</sup>, А.А. Черенков<sup>2</sup>, Д.В. Бисикало<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (ГУ), Москва, Россия  
parqelion@inbox.ru*

*<sup>2</sup>Институт астрономии РАН, Россия*

**Научный руководитель: Бисикало Д.В., д.ф.-м.н.**

*Институт астрономии РАН, Россия*

«Горячие юпитеры» - планеты, расположенные на малом расстоянии от звезды (менее 0,1 а.е.) и обладающие массой порядка массы Юпитера. Значительная часть атмосферы некоторых «горячих юпитеров» находится вне полости Роша. Ранее авторами была разработана модель асимметричной газовой оболочки «горячих юпитеров», которая может быть квазистационарной, благодаря динамическому давлению звездного ветра. Возмущение параметров звездного ветра (например, корональные выбросы массы - КВМ) может приводить к срыву внешних частей оболочки. Ранее авторами было выполнено трехмерное численное газодинамическое моделирование влияния КВМ с большим углом раствора ( $60^\circ$ ) на оболочку экзопланеты HD 209458b и показано, что потери массы атмосферой от КВМ солнечного типа на порядок выше, чем в стационарном режиме ветра. В то же время из наблюдений известно, что конус КВМ может быть достаточно узким, то есть возможна ситуация, при которой планета будет проходить через боковую границу КВМ. В настоящем докладе представлены результаты трёхмерного газодинамического моделирования течения вещества в атмосфере HD 209458b при её прохождении через узкий КВМ для различных фаз и углов раствора КВМ.

# ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЛОКАЛЬНОГО МИНИМУМА СКОРОСТИ НИЗКОШИРОТНОГО СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ОБЛАСТИ МЕЖДУ 1.5 И 3 AU

**Р.А. Кислов<sup>1</sup>, О.В. Хабарова<sup>2</sup>, Х.В. Малова<sup>1,3</sup>, А. Vemporad<sup>4</sup>, В.Н. Обридко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*  
*kr-rk@bk.ru*

<sup>2</sup> *ИЗМИРАН, Троицк, Россия*

<sup>3</sup> *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Отдел излучений и вычислительных методов, Москва, Россия*

<sup>4</sup> *Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), Osservatorio Astrofisico di Torino, via Osservatorio 20, I-10025 Pino Torinese, Torino, Italy*

По данным измерений ряда космических аппаратов на низких широтах в гелиосфере было обнаружено, что скорость солнечного ветра имеет локальный минимум на гелиоцентрических расстояниях между 1.5 AU и 3 AU. В рамках идеальной МГД показано, что наблюдаемый профиль скорости может являться следствием двух пиков скорости солнечного ветра в ближней гелиосфере – на высоких и средних широтах. Последние были найдены по данным дистанционных наблюдений солнечной атмосферы, начиная с 2.5 радиусов Солнца [Vemporad, 2017]. Природа пиков является предметом дальнейших исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Vemporad A., Exploring inner acceleration region of solar wind: a study based on coronagraphic UV and visible light data, *The Astrophysical Journal*, 846:86 (17pp), 2017.



# СЛАБОНЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ ВОЛН РОССБИ И ПУАНКАРЕ В МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКЕ В ПРИБЛИЖЕНИИ МЕЛКОЙ ВОДЫ

**Д.А. Климачков<sup>1</sup>, А.С. Петросян<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, Россия

**Научный руководитель: Петросян А.С., д.ф.-м.н.**

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

Магнитогидродинамическая теория вращающихся тонких слоев плазмы со свободной границей в поле силы тяжести используется для описания течений солнечного тахоклина (тонкого слоя внутри Солнца, находящегося над конвективной зоной), динамики атмосфер нейтронных звезд, аккреции на нейтронные звезды, магнитоактивных атмосфер экзопланет, захваченных приливами несущей звезды. Волны Россби и волны Пуанкаре магнитной гидродинамики определяют крупномасштабную динамику таких течений. Несмотря на сложность наблюдений таких волн в астрофизической плазме, волны Россби совсем недавно были обнаружены в зонах солнечной активности. Кроме того, недавние наблюдения миссий CoRoT и Кеплер продемонстрировали наличие в звездной активности временных масштабов, соответствующих периоду волн Россби. Уравнения вращающейся магнитной гидродинамики в приближении мелкой воды являются альтернативой магнитогидродинамическим уравнениям тяжелой жидкости со свободной границей в случае, когда исследуется слой малой толщины по отношению к характерному горизонтальному линейному размеру задачи. Рассматривается слой несжимаемой невязкой жидкости со свободной поверхностью, находящийся в поле сил тяжести во внешнем вертикальном магнитном поле, в неинерциальной системе отсчета, вращающейся вместе с плазмой. Эффекты, вызванные различием в угловой скорости вращения, описываются введением приближения бета-плоскости, в котором коэффициент Кориолиса линейно зависит от широты.

Традиционные магнитогидродинамические уравнения мелкой воды модернизированы на случай внешнего вертикального магнитного поля. Вертикальные изменения магнитного поля отличны от нуля, и условие бездивергентности содержит вертикальную составляющую, поэтому для полного описания динамики магнитного поля, в систему добавлено уравнение для вертикального изменения магнитного поля. Магнитное поле является принципиально трехкомпонентным и каждая из его компонент зависит только от горизонтальных координат. Уравнение для вертикальной составляющей магнитного поля и уравнение бездивергентности являются важными в магнитогидродинамическом приближении мелкой воды, так как они показывают существование вертикальной компоненты магнитного поля, уравнение для которой отделяется от уравнений мелкой воды.

В работе рассматриваются два типа течений: течения во внешнем вертикальном магнитном поле и течения при наличии горизонтального магнитного поля. Для линейной задачи приведены дисперсионные соотношения для волн магнито-Пуанкаре и магнитострофических волн в вертикальном магнитном поле и при наличии горизонтального магнитного поля. Также приведены дисперсионные соотношения для магнито-Россби волн для обоих случаев. Основным механизмом образования волн Россби заключается в сдвиге вращающегося потока вследствие того, что сила Кориолиса изменяется в зависимости от широты. Показано, что в частном случае отсутствия внешнего магнитного поля динамика волн в слое плазмы аналогична динамике волн в нейтральной жидкости. Качественный анализ дисперсионных кривых показывает наличие трехволновых нелинейных взаимодействий волн магнито-Пуанкаре и магнито-строфических волн при наличии внешнего вертикального магнитного поля. Для

волн Россби магнитной гидродинамики на бета-плоскости в обоих случаях показано наличие трехволновых взаимодействий: в случае вертикального внешнего магнитного поля и в случае наличия горизонтального магнитного поля. Асимптотическим методом многомасштабных разложений выведены нелинейные уравнения взаимодействия для медленно меняющихся амплитуд, описывающие трехволновые взаимодействия для всех приведенных линейных волн. Анализ полученных нелинейных уравнений показал существование различных типов неустойчивостей для волн Россби магнитной гидродинамики и для волн магнито-Пуанкаре и магнитострофических волн. Найдены инкременты неустойчивостей и коэффициенты параметрического усиления для соответствующих процессов.

# СИСТЕМА ВИДЕОКОНТРОЛЯ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА РАКЕТАХ-НОСИТЕЛЯХ

**Д.И.Климов, Т.Т.Мамедов, Д.И.Косарев**

*АО «Российские космические системы», Россия  
mitguitar@yandex.ru*

**Научный руководитель: Благодырёв В.А., к.т.н., с.н.с.**

*АО «Российские космические системы», Россия*

В настоящее время появление работ по созданию систем видеоконтроля для ракет-носителей обусловлено недостаточностью существующих средств контроля для отслеживания штатного функционирования, а также оперативного и однозначного выявления причин возникновения нештатных и аварийных ситуаций, возникающих в процессе полёта изделий ракетно-космической техники.

Рассматривается система видеоконтроля для эксплуатации на ракетах-носителях. Основной целью создания системы видеоконтроля для ракет-носителей является контроль наиболее важных процессов, происходящих в пространстве, сопровождающих движение ракет-носителей, а именно:

- разделение составных частей ракеты;
- отделение полезной нагрузки;
- маневрирование.

Приведены требуемые функциональные возможности системы, заключающиеся в видеосъёмке объекта, обработке видеоинформации и её передаче по каналу борт-Земля. Для оперативного решения вопроса реализации системы предлагается обработку и передачу целевой информации осуществлять на базе существующих алгоритмов сжатия, с использованием помехоустойчивого кодирования и формата передачи, рекомендованного CCSDS. Предложены принципы построения и основные технические характеристики системы как автономном исполнении, так и в исполнении, предусматривающем интеграцию в имеющиеся системы телеметрии.

Для дальнейшего развития видеосистем в ракетно-космической технике предлагается разработать систему видеоконтроля для эксплуатации на космических аппаратах и разгонных блоках.

# МОДЕЛЬ ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ХАРАКТЕРИСТИК НАБЛЮДАЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ VI-ТЕХНОЛОГИЙ

**Д.А. Кобец, И.В. Балашов**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия  
kobets@d902.iki.rssi.ru  
+7(495) 333-53-13*

Распределенные архивы, созданные и поддерживаемые ИКИ РАН (Лупян и др., 2014), содержат долгосрочные временные ряды данных дистанционного зондирования как зарубежных («Aqua», «Landsat», «Noaa», «Sentinel», «Terra», ...) так и отечественных («Канопус», «Метеор», «Ресурс») спутниковых систем. Накопленные многолетние массивы данных позволяют решать широкий спектр научных задач, в частности создавать ежегодно обновляемые карты растительного покрова (Барталев и др., 2011) и преобладающих древесных пород (Жарко и др., 2014) Российской Федерации, осуществлять мониторинг лесных пожаров (Флитман и др., 2011).

Так как архивы наблюдаемых пожаров достаточно хорошо структурированы, то используя данные полученные в результате классификации о местонахождении различных видов растительного покрова и преобладающих древесных пород в совокупности с информацией о пространственных характеристиках пожаров, возможно количественно оценить пространственную и временную динамику влияния пожаров на различные виды растительности произрастающие на территории Российской Федерации.

Для проведения такого изучения необходимы инструменты (Данилов и др., 2014), которые позволяют представить информацию в удобном для анализа виде, например, в графической, табличной или пространственной форме, а также осуществлять удобный выбор различных её параметров. Следует отметить, что в последнее десятилетие достаточно быстро развивались различные технологии, связанные с созданием подобных инструментов для проведения анализа различной информации. Одними из наиболее быстро развивающихся в этом направлении технологий создания подобных инструментов являются VI-технологии (Business intelligence) (Палкин, 2013).

Чтоб сделать данные доступными для систем VI-аналитики, необходимо произвести над ними комплекс методов и процедур консолидации, направленных на:

- Извлечение данных из источников
- Обеспечение данным необходимого уровня качества (отчистка от факторов не позволяющих производить их корректный анализ) и информативности (обогащение дополнительной информацией, для решения определенных аналитических задач).
- Преобразовать данные в единый формат
- Разместить данные в специализированных системах хранения (реляционных базах данных), обеспечивающих целостность, непротиворечивость и хронологию данных (преобразовать к структурированному виду).

После консолидации архивов регистрируемых пожаров, математическая модель располагающихся в них данных выглядит следующим образом.

Введем множество все лет, в которые проводился мониторинг пожаров:

$$\exists Y = \{y_1 \dots y_n\} \quad (1)$$

В каждый год  $y_i$  было зарегистрировано определенное количество пожаров:

$$\forall y_i, \exists F_i = \{f_{i1} \dots f_{im_i}\} \quad (2)$$

Для каждого пожара определено множество не изменяющихся во времени параметров:

$$\forall f_{ij}, \exists (fo, reg, lx, prot)_{ij} \quad (3)$$

- $fo_{ij}$  – федеральный округ, в котором зарегистрирован пожар  $f_{ij}$
- $reg_{ij}$  – регион, в котором зарегистрирован пожар  $f_{ij}$
- $lx_{ij}$  – лесное хозяйство, в котором зарегистрирован пожар  $f_{ij}$
- $prot_{ij}$  – зона мониторинга, в которой зарегистрирован пожар  $f_{ij}$

Для каждого пожара существует обогащенное множество моментов времени, дополненное моментами в которые не было возможности его наблюдать:

$$\forall f_{ij}, \exists Time_{ij} = \{time_{ij1} \dots time_{ijl_{ij}}\} \quad (4)$$

Каждому моменту соответствует множество идентификаторов типов территорий:

$$\forall time_{ijk}, \exists \{idt_q\}_{ijk} \quad (5)$$

- $\{idt_q\}_{ijk}$  – множество идентификаторов типов территорий, которые занимает пожар  $f_{ij}$  (Хвойные вечнозеленые леса, Лиственные леса, Смешанные леса, Хвойные листопадные леса, Хвойный кустарник, Травянистая растительность, Болота, Тундра, Сельскохозяйственные угодья, Безрастительные территории, Водные объекты, Населенные пункты и промышленные объекты) в момент времени  $time_{ijk}$ .

Для каждого типа территории определено множество изменяющихся во времени параметров:

$$\forall idt_{ijkq}, \left\{ \begin{array}{l} \exists (idf, area, part, state)_{ijkq} \\ \exists m_{ijkq} : [state_{ijkq} = 2] \end{array} \right. \quad (6)$$

- $idf_{ijkq}$  – идентификатор групп территорий (не лесные, лесные)
- $area_{ijkq}$  – занимаемые типами территорий площади
- $part_{ijkq}$  – части (в долях от целого) занимаемых типами территорий в общей площади пожара
- $state_{ijkq}$  – состояние пожара  $f_{ij}$  (0 – ликвидирован, 1 – действует, 2 – слился)
- $m_{ijkq}$  – идентификатор пожара, с которым слился пожар  $f_{ij}$

Консолидированные данные, размещенные в реляционных БД и описывающие какие-либо объекты или процессы, зачастую содержат множество показателей, свойств и атрибутов, которые, с точки зрения анализа, можно охарактеризовать как информационные измерения. Располагаясь в реляционных системах хранения, такие данные (будучи нормализованными) хранятся в большом количестве таблиц, связанных некоторым набором отношений, что снижает скорость выполнения аналитических запросов, а так же делает такие данные сложными для визуального анализа и осмысления.

Для решения связанных с реляционными БД проблем, в системах BI-аналитики используются хранилища, основанные на многомерной модели данных опирающихся на концепцию OLAP-кубов (англ. On-Line Analytical Processing, оперативная аналитическая обработка). Данные формирующие OLAP куб делятся на два вида:

- «Измерения» – характеристики, описывающие исследуемый объект или процесс, принимающие значения из ограниченного набора (т.е. являющиеся дискретными).
- «Факты» – некоторые показатели (численные значения), которые соответствует исследуемому объекту или процессу, полученные при фиксированных значениях (диапазонах значений) измерений.

Для предоставления возможности работы с данными архивов регистрируемых пожаров инструментам ВІ-аналитики, они были преобразованы в многомерную структуру (где  $F$  – множество фактов, а  $D$  – множество измерений):

$$\left\{ \begin{array}{l} F = \left\{ (area, part)_{ijkq} \right\}_{1 \leq q \leq h_{ijk}} \\ D = \left\{ y_i, f_{ij}, time_{ijk}, (idf, idt, state)_{ijkq} \right\}_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq j \leq m_i \\ 1 \leq k \leq l_{ij} \\ 1 \leq q \leq h_{ijk}}} \end{array} \right. \quad (7)$$

Созданная на основе этих математических моделей система, позволяет анализировать пожары по времени и различным видам территорий (типам преобладающей растительности, административному делению, зонам мониторинга и т.д.). При этом следует иметь ввиду, что для построения подобных отчетов система оперирует информацией о всех пожарах на территории России наблюдавшихся по спутниковым данным с начала 2000 года по настоящее время, т.е. осуществляет анализ информации более чем о 695000 пожарах.

Работа выполнена при поддержке ФАНО (тема «Мониторинг», госрегистрация №01.20.0.2.00164), а так же проекта Минобрнауки России контракт № 14.607.21.0122 (инструменты оценки характеристик лесных ресурсов).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барталев С. А., Егоров В. А., Ершов Д. В., Исаев А. С., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Уваров И. А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. Т. 8. №. 4. С. 285-302.
2. Данилов И.Д., Кобец Д.А., Лупян Е.А., Сычугов И.Г. Построение системы анализа результатов обработки спутниковых данных с использованием ВІ-технологий // Двенадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва. ИКИ РАН, 10-14 ноября 2014. Тезисы докладов, 2014. С. 23.
3. Жарко В.О., Барталев С.А. Оценка распознаваемости древесных пород леса на основе спутниковых данных о сезонных изменениях их спектрально-отражательных характеристик // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. №. 3. С. 159-170.
4. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263-284.
5. Палкин Н., Орешков В. Бизнес-аналитика. От данных к знаниям // OLAP-анализ. Питер, 2013. С. 184-192.
6. Флитман Е.В., Балашов И.В., Бурцев М.А., Галеев А.А., Егоров В.А., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Прошин А.А. Построение системы работы с данными прибора MODIS для решения задач мониторинга лесных пожаров и их последствий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. № 1. С. 127-138.

# РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЙ ПЛАЗМЫ В ОКРЕСТНОСТИ ПЕРЕСОЕДИНЯЮЩЕГО ТОКОВОГО СЛОЯ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ

**Н.П. Колесников, С.И. Безродных, Б.В. Сомов**  
ГАИШ МГУ, Москва, Россия  
nick206265@gmail.com

В приближении сильного магнитного поля выполнен расчет течений плазмы в окрестности области магнитного пересоединения в короне Солнца. Рассматриваемая модель включает в себя тонкий токовый слой Сыроватского и присоединенные к его концам магнитогидродинамические (МГД-) разрывы [1]. С использованием двумерного аналитического решения для магнитного поля [2] выполнен расчет распределений скоростей течения плазмы и ее плотности в окрестности соответствующей токовой конфигурации. Исследованы свойства скачков плотности и скорости вдоль присоединенных разрывов. Исходя из характера изменения магнитного поля и течений плазмы на МГД-разрыве, показано, что при рассмотренных значениях параметров МГД-разрыв включает в себя области транс-альвеновской, быстрой и медленной ударных волн. Показана возможность значительного падения плотности плазмы вблизи токовой конфигурации, что создает благоприятные условия для разрыва токового слоя и возникновения вспышки. Результаты опубликованы [3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. B.V.Somov. Plasma Astrophysics. N.-Y.: Springer, 2013.
2. С.И.Безродных, В.И.Власов, Б.В.Сомов. Обобщённые аналитические модели токового слоя Сыроватского //Письма в астрон. журн. 2011. Т. 37, № 2. С. 133-150.
3. С.И. Безродных, Н.П. Колесников, Б.В. Сомов//Астрон. журн., т.94, №3, с. 259–276, 2017.

# ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО АЛЬБЕДО ОБЛАКОВ ВЕНЕРЫ

**В.А. Колмогорова<sup>1</sup>, Д.А. Беляев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия  
[urgbal@gmail.com](mailto:urgbal@gmail.com)

<sup>2</sup> ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

**Научный руководитель: Беляев Д.А., к.ф.-м.н.**

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

Венера полностью покрыта облаками, состоящими из сернистого газа и капель серной кислоты, расположенными на высотах от 50 до 70 км. Облачный покров Венеры обуславливает климат на планете и является одной из причин парникового эффекта. Облака отличаются достаточно высоким альбедо и отражают около 75% падающего солнечного света, скрывая поверхность планеты и препятствуя её наблюдению. В ультрафиолетовом диапазоне альбедо в 2-3 раза ниже, а Венера выглядит контрастной с наличием характерных темных областей. Эти области указывают на присутствие в облаках веществ, которые сильно поглощают солнечный свет в спектральном интервале 200-400 нм. Известно, что одним из таких веществ является двуокись серы (SO<sub>2</sub>), которая играет ключевую роль в фотохимии облачного слоя. Второе вещество, поглощающее в районе 300-400 нм, до сих пор однозначно не установлено: по разным оценкам это могут быть как серосодержащие молекулы, так и малая примесь хлорида железа FeCl<sub>3</sub>. Для решения этой проблемы долгое время не хватало экспериментальных данных – измеренных спектров альбедо в диапазоне от 200 до 400 нм.

Целью данной работы является анализ данных, полученных приборами СПИКАВ и ВИРТИС на борту европейского орбитального аппарата «Венера-Экспресс». Эксперимент длился с июня 2006 г. по ноябрь 2014 г., а его главная научная цель состояла в глобальном исследовании атмосферы, околопланетной плазмы и поверхности Венеры с орбиты искусственного спутника. УФ канал СПИКАВ работал в интервале 110-320 нм, а ВИРТИС – в интервале 300-1000 нм. Объединяя спектры альбедо от СПИКАВ и ВИРТИС, можно получить полосы поглощения неизвестных УФ поглотителей, определить их молекулы и восстановить их процентное содержание в облаках Венеры.

В настоящее время нами проводится анализ данных СПИКАВ по годовым вариациям альбедо, а также его зависимости от различных параметров измерений, таких как коэффициент усиления детектора спектрометра. Такое исследование позволит очистить регистрируемый сигнал с отраженным облаками солнечным излучением от инструментальных артефактов.



# ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ОТКРЫТОГО ИНТЕРФЕЙСА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

**Константинова А.М., Сычугов И.Г., Балашов И.В.**

*Институт космических исследований РАН,  
konstantinova.anouk@gmail.com*

**Научный руководитель: Лупян Е.А., д.т.н.**

*Институт космических исследований РАН*

В научных и прикладных системах дистанционного мониторинга, созданных в Институте космических исследований РАН, доступно большое количество различных инструментов распределенного анализа и обработки спутниковых данных. Они рассчитаны на специалистов, занимающимися конкретными научными или прикладными задачами, и позволяют проводить процедуры многоуровневой обработки данных с использованием ресурсов центров хранения. Однако выполнение таких процедур требует значительных вычислительных и временных затрат, что накладывает ограничение на организацию одновременной работы большого числа пользователей.

В связи с этим появилась задача обеспечить доступ к спутниковым данным для широкой аудитории и в то же время разработать интерфейс, имеющий ограниченный функционал, понятный многочисленным пользователям, при этом сохранив возможности автоматизированного обновления данных.

Созданная технология представляет собой потоковую обработку спутниковых изображений (нарезка на тайлы), позволяющую в дальнейшем осуществлять одновременный быстрый доступ большого числа пользователей к ним, а также web-интерфейс для просмотра и анализа обработанных данных.

В рамках разработанного метода достаточно выделить набор информации для открытого доступа из той, что представлена в системах дистанционного мониторинга, и запустить процесс, готовящий оперативные данные для этого набора с заданной периодичностью (ежедневно, два раз в сутки и т.д.). Картографический web-интерфейс для просмотра данных разрабатывается на основе ранее созданной технологии SMIS Viewer, туда добавляется функционал, специфичный для той области исследования, которой посвящён открытый интерфейс.

В докладе описывается созданная технология на примере интерфейса «Открытых данных» Информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства. Интерфейс предоставляет незарегистрированному пользователю ежедневно обновляемые карту пожаров и спутниковых данных среднего и высокого разрешения, а также информацию об отдельных пожарах и отчётные формы.

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАРЯДКИ СФЕРИЧЕСКОГО ТЕЛА В ПЛАЗМЕ С МАКСВЕЛЛОВСКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЧАСТИЦ

**В.Л. Красовский, А.А. Киселёв**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

*alexander.kiselyov@stonehenge-3.net.ru*

**Научный руководитель: Красовский В.Л., д. ф.-м. н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

Изучение возмущения бесстолкновительной плазмы вокруг поглощающего заряд сферического тела – известная, но не до конца изученная задача теории электрического зонда. Длительное время оставался открытым вопрос об определении параметров захваченных частиц – движущихся по финитной траектории – и оценке их вклада в экранирование заряженного тела.

Рассматривается задача с начальными условиями, описываемая уравнениями Власова-Пуассона для электронов и ионов. В начальный момент в бесстолкновительной плазме с максвелловским начальным распределением возникает сферическое поглощающее тело с нулевым зарядом. Целью является изучение динамики плазмы и процесса приобретения заряда сферой вплоть до асимптотического состояния устойчивого равновесия. Существенна значительная нелинейность и невозможность задания граничных условий для захваченных частиц не решая всю задачу, поэтому был разработан код для численного моделирования этой системы методом «частиц-в-ячейке», часто успешно применяемым в сильно нелинейных плазменных задачах. Использование канонических уравнений движения и сферической симметрии задачи позволило значительно повысить эффективность расчета.

Проведено моделирование для ряда параметров физической системы. Проанализированы пространственно-временные зависимости электрического поля при выбранных параметрах при переходе системы в состояние асимптотического равновесия, проведено сравнение с предыдущими результатами, полученными для моноэнергетической функции распределения. Получена функция распределения частиц плазмы на фазовой плоскости для одного из расчетов. Вклад захваченных частиц был оценен с помощью отношения заряда сферы к суммарному заряду захваченных частиц (относительный заряд). Обнаружена зависимость величины относительного заряда от скейлингового параметра, характеризующего близость сгустка захваченных частиц к поверхности сферы.

# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЛУНЫ НА СОСТАВ МАНТИИ, СЕЙСМИЧЕСКИЕ СКОРОСТИ И РАЗМЕРЫ ЯДРА НА ОСНОВАНИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

**Е.В. Кронрод**

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского  
Российской академии наук (ГЕОХИ РАН), Москва, Россия  
e.kronrod@gmail.com*

**Научный руководитель: Кусков О.Л., член-корр. РАН  
ГЕОХИ РАН, Москва, Россия**

С помощью метода инверсии Байеса и алгоритма MCMC (метод Монте-Карло по схеме марковских цепей) проведено исследование влияния температуры в мантии Луны на химический состав (концентрации основных оксидов  $Al_2O_3$ , FeO, MgO) и сейсмические скорости в мантии, а также оценка возможных величин размеров ядра. Определение температуры и концентраций основных оксидов осуществлялось с помощью термодинамических методов моделирования фазовых отношений и физических свойств в пятикомпонентной минеральной CaO-FeO-MgO- $Al_2O_3$ -SiO<sub>2</sub> с использованием метода минимизации свободной энергии Гиббса [1]. Для процедуры инверсии использован набор геофизических данных (геодезические: средний радиус ( $R$ ), масса ( $M$ ), нормализованный момент инерции ( $I_s/MR^2$ ), число Лява второго порядка  $k_2$  [2] и сейсмические: данные о временах прихода сейсмических волн [3]), аналогично [4]. Луна в настоящей модели принимается вязкоупругой сферически-симметричной и состоит из девяти слоев с постоянными физическими свойствами в каждом слое: мегареолит, кора, четыре слоя мантии, слой пониженной вязкости, жидкое внешнее ядро и твердое внутреннее ядро. Физические свойства в каждой зоне приняты постоянными. Деление мантии на слои проводилось в соответствии с моделью [5]. Концентрации основных оксидов задавались равными в четырех верхних слоях мантии, для расчета концентраций в нижней мантии применялась модель магматического океана ([6] и др.).

Рассмотрены два типа геохимических моделей валового состава Луны: 1 - модели, по валовому содержанию  $Al_2O_3$  близкие к силикатной Земле, 2 - модели с валовым содержанием  $Al_2O_3$ , превышающим земные значения ( $> 4,5$  мас.%) [7]. Температурные профили в мантии Луны рассматривались линейными, температура задавалась в серединах мантийных слоев на глубинах 150, 375, 625 и 1000 км, значения температуры в нижней мантии варьировались от 1000 до 1400 °C.

По полученным результатам можно сделать вывод, что модели Луны с валовым содержанием Al, близким к земным величинам, согласуются с сейсмическими данными.

Вероятные концентрации  $Al_2O_3$  - 2,7-2,9 мас.% в верхней мантии и 4,1-4,3 мас.% в нижней мантии. Валовая концентрация FeO - 11,5-12,5 мас.%. Сейсмические скорости Р-волн (~7,92 км/с) в нижней мантии находятся в пределах погрешности сейсмической модели [5].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кусков О.Л., Кронрод В.А. Физика Земли, 2009, No 9, Т. 25–40
2. Williams J. G. et al. J. Geophys. Res. Planets. 2014. V. 119, 1546–1578.
3. Lognonné P. et al., EPSL, 2003, V.211, 27-44.
4. Matsumoto et al. (2015), GRL, 42, i18, 7351–7358
5. Gagnepain-Beyneix J. et al. Phys. Earth and Planet Int. 2006. V.159, 140-166.
6. Кронрод В.А., Кусков О.Л. Физика Земли, 2011, № 8, с. 62–80
7. Кронрод Е.В., Кусков О.Л. XVII межд. конф. «Физико-хим. и петрофиз. Иссл. в науках о Земле» (Москва, Борок, 2016 г.) Материалы конференции, 153-156

# ВЗАИМОВЛИЯНИЕ ЛУННОЙ ПЛАЗМЕННО-ПЫЛЕВОЙ ЭКЗОСФЕРЫ С НАУЧНОЙ АППАРАТУРОЙ ПОСАДОЧНОГО АППАРАТА

**И.А. Кузнецов<sup>1</sup>, А.В. Захаров<sup>1</sup>, С.Л.Г. Хесс<sup>2</sup>, Ф. Киприани<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

<sup>2</sup>*ONERA, Тулуза, Франция*

<sup>3</sup>*ESTEC/TEC-EES, Нордвейк, Нидерланды*

Частицы пыли в космосе встречаются повсеместно – от внешних слоёв атмосферы Земли и приповерхностной Лунной экзосферы до облаков межзвездной пыли в межзвездном пространстве, планетарных туманностей и многих других интереснейших явлений. И если о «далёкой» пыли, расположенной за пределами Солнечной системы, можно судить лишь по косвенным измерениям, то физические характеристики пылевых частиц близ поверхности Луны и Марса можно измерить, непосредственно взаимодействуя с ними.

Подобные наблюдения и измерения находились на пике активности в конце 60х – начале 70х годов. Именно тогда как автоматическими аппаратами, так и пилотируемыми экспедициями было получено множество свидетельств наличия пылевых левитирующих структур вблизи поверхности Луны. С тех пор теория возникновения левитирующих пылевых частиц и динамики плазменно-пылевой лунной экзосферы развивалась довольно быстро.

Изучение пыли на Луне носит не только научный, но и практический интерес. Лунная пыль обладает чрезвычайно высокой адгезией, устранение ее с рабочих поверхностей приборов и механизмов нетривиально. Помимо негативного влияния на показатели приборов, пыль также представляет существенную опасность для пилотируемых миссий.

Данная работа посвящена численному моделированию взаимодействия аппарата и его научных инструментов с экзосферой Луны, а также полученным в ходе результатам.

# МОНИТОРИНГ НЕТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗВЕЗДНОГО КЛАСТЕРА ЛУЧНИК В ЦЕНТРЕ ГАЛАКТИКИ ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИИ NUSTAR

**Е.А. Кузнецова, Р.А. Кривонос**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия  
eakuznetsova@cosmos.ru*

**Научный руководитель: Кривонос Р.А., к.ф.-м.н., Лутовинов А.А., д.ф.-м.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

Недавние наблюдения обсерваториями NuSTAR и XMM–Newton молекулярного облака вокруг звездного скопления Лучник демонстрируют резкие изменения как в морфологии, так и в интенсивности нетеплового излучения, аналогичные наблюдаемым в Центральной молекулярной зоне (ЦМЗ) Галактического центра (ГЦ). Сильные вариации молекулярных облаков поддерживают гипотезу флуоресценции газа от прошлой вспышечной активности Sgr A\*. Мы продолжаем мониторинг звездного скопления Лучник обсерваторией NuSTAR, для исследования сильной переменности нетеплового излучения вокруг кластера. В докладе будут представлены результаты наблюдений 2016-2015 гг.

# РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТА КЛАССИФИКАЦИИ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ «ВЕГА-SCIENCE»

Э.М. Купенова<sup>1</sup>, А.В. Кашницкий<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, факультет Космических Исследований, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия  
kashnizky@gmail.com*

**Научный руководитель: Лупян Е.А., д.т.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

В информационной системе дистанционного мониторинга «ВЕГА-Science» (Лупян и др., 2014) доступны различные интерактивные инструменты для анализа и обработки спутниковых снимков. Одним из таких инструментов является инструмент проведения классификаций (Кашницкий и др., 2015). Он позволяет выполнять достаточно сложные процедуры обработки для разделения спутниковых изображений на отдельные классы по определенным параметрам. Это может быть использовано для выделения особенностей изображения и построения тематических карт. При этом набор доступных на данный момент методов классификации не покрывает всех потребностей пользователей информационной системы. Настоящая работа посвящена расширению возможностей описываемого инструмента с помощью внедрения в него метода классификации изображений с помощью случайных лесов (Breiman L., 2001). На сегодня во многих библиотеках и программных пакетах существуют различные реализации данного метода. В докладе рассмотрены особенности метода случайных лесов в задачах классификации спутниковых снимков и существующие его программные реализации. Рассказано о выбранных реализациях и намеченных путях их внедрения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лупян Е.А., Барталев С.А., Толпин В.А., Жарко В.О., Крашенинникова Ю.С., Оксюкевич А.Ю. Использование спутникового сервиса ВЕГА в региональных системах дистанционного мониторинга // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2014. Т. 11. №. 3. С.215-232.
2. Кашницкий А.В., Балашов И.В., Лупян Е.А., Толпин В.А., Уваров И.А. Создание инструментов для удаленной обработки спутниковых данных в современных информационных системах // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015. Т.12. № 1. С.156-170.
3. Breiman L. Random forests // *Machine learning*. – 2001. – Т. 45. – №. 1. – С. 5-32.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ АППАРАТУРЫ ОЛВЭ (ОБСЕРВАТОРИЯ ЛУЧЕЙ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ)

**А.Т. Курбанов<sup>1</sup>, А.В. Бакалдин<sup>2</sup>, Д.Е. Карманов<sup>1</sup>, А.А. Леонов<sup>2</sup>,  
В.В. Михайлов<sup>2</sup>, А.Д. Панов<sup>1</sup>, Д.М. Подорожный<sup>1</sup>, А.Н. Турундаевский<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> НИИ ядерной физики имени Д. В. Скобельцына МГУ, Москва, Россия,  
*af.kurbanov@physics.msu.ru*

<sup>2</sup> Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва,  
Россия

**Научный руководитель: Турундаевский А. Н., к. ф.-м. н.**  
*НИИ ядерной физики имени Д. В. Скобельцына МГУ, Москва, Россия*

Основная задача эксперимента обсерватории лучей высоких энергий (ОЛВЭ) – прямые измерения космических лучей высоких энергий. Измерения направлены на решение следующих научных задач: детальное изучение зарядового состава космических лучей в области колена, исследование энергетического спектра галактического и внегалактического космического излучения, поиск сигнатур частиц темной материи.

ОЛВЭ планируется запустить на тяжелом спутнике. Эксперимент основан на применении широкого ионизационного калориметра с апертурой ( $> 2\pi$ ) ( $\sim 5\lambda$ ). Эффективный геометрический коэффициент устройства составляет не менее  $8-16 \text{ м}^2\text{ср}$  в зависимости от типа частиц.

При длительной экспозиции ( $\sim 10$  лет) эксперимент позволит измерить энергетический спектр космических лучей до  $10^{17}$  эВ с поэлементным разделением различных компонент, что недостижимо в наземных экспериментах. В ходе разработки аппаратуры было проведено широкомасштабное математическое моделирование методом Монте-Карло для различных компонент космических лучей, включая заряженные частицы и гамма-кванты.

Моделирование выполнено с помощью пакета GEANT версии 4.10 и предназначено для оптимизации характеристик детектора.

# О МЕХАНИЗМЕ «ПОДЖИГА» ВСПЫШЕЧНЫХ ПЕТЕЛЬ НА СОЛНЦЕ

**Л.С. Леденцов, Б.В. Сомов**

*ГАИШ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*koob@mail.ru*

С целью интерпретации современных спутниковых наблюдений последовательного увеличения яркости отдельных корональных петель в солнечных вспышках мы решили задачу об устойчивости малых продольных возмущений однородного пересоединяющего токового слоя в МГД приближении. Условием неустойчивости служит эффективное подавление теплопроводности плазмы возмущением магнитного поля внутри слоя. Неустойчивость в линейной фазе нарастет за характерное время лучистого охлаждения плазмы. В результате неустойчивости в токовом слое образуется периодическая структура холодных и горячих волокон, расположенных поперек направления электрического тока. Предлагаемый механизм тепловой неустойчивости пересоединяющего токового слоя может быть полезен для объяснения последовательного увеличения яркости, «поджига», вспышечных петель на Солнце.



# СПЕКТРЫ CO<sub>2</sub> ЛЬДА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА МАРСЕ ПО ДАННЫМ СПИКАМ/МАРС-ЭКСПРЕСС: СРАВНЕНИЕ С ЛАБОРАТОРНЫМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ

**А.А. Ломакин<sup>1,2</sup>, А.А. Федорова<sup>1</sup>, F. Schmidt<sup>3</sup>, О.И. Кораблев<sup>1</sup>,  
Ф. Монтмессан<sup>4</sup>, B. Schmitt<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

<sup>2</sup> МФТИ, Долгопрудный, Россия

<sup>3</sup> GEOPS, Univ. Paris-Sud, CNRS, Université Paris-Saclay, Rue du Belvédère, Bât. 504-509 91405, Orsay, France

<sup>4</sup> LATMOS – UVSQ/UPMC/CNRS, Гюйанкур, Франция

<sup>5</sup> Laboratoire de Planétologie de Grenoble, Grenoble, France

**Научный руководитель: Федорова А.А., к.ф.-м.н.**

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

Цикл CO<sub>2</sub> на Марсе определяет фундаментальные процессы как на поверхности, так и в атмосфере. На полюсах конденсация большой доли атмосферы (до 30%) приводит к сезонной растущей и отступающей полярных шапок (Piqueux et al., 2015), изменяя альбедо поверхности и излучательную способность, что имеет глобальные последствия для энергетического бюджета (Paige and Wood, 1992), а также меняет местный и глобальный климат и погоду на планете (Hourdin et al., 1993; Kahre and Haberle, 2010). Инфракрасная спектроскопия является одним из способов дистанционного зондирования углекислого льда на Марсе. CO<sub>2</sub> лед имеет характерные резкие полосы в ближнем ИК диапазоне, которые позволяют отличить его от полос поглощения углекислого газа в атмосфере. Эти полосы позволили картировать распределение и сезонную эволюцию конденсации и сублимации углекислого льда на полярных шапках (Langevin et al., 2006). Между тем, спектр углекислого льда в ближнем ИК диапазоне до сих пор хорошо не известен, поскольку спектрометры низкого разрешения не позволяют увидеть слабые резкие полосы. Спектрометр СПИКАМ ИК на орбите Марса был первым, выполнившим измерения углекислого льда с относительно высоким разрешением (разрешающей способностью 2000) в ближнем ИК диапазоне (Korablev et al., 2006). Для исследования спектра углекислого льда полный спектр СПИКАМ в диапазоне 1-1.7 мкм был записан на двух орбитах 6682 (17.03.2009) и 6709 (25.03.2009) над постоянной южной полярной шапкой в начале лета в южном полушарии Ls~230°, где глубина полос была максимальна. В спектральном диапазоне СПИКАМ существуют ранее не идентифицированные резкие детали льда, но этот массив данных никогда не анализировался. Для получения «чистого» спектра поверхности было проведено моделирование атмосферного спектра Марса для конкретных условий наблюдений с использованием последней версии спектроскопической базы HITRAN для молекул H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> и модели общей циркуляции Марса MCD 5.2. Полученные спектры льда сравниваются с существующими сейчас лабораторными измерениями. Спектры высокого разрешения углекислого льда потенциально могут позволить исследовать вклад температуры, плотности упаковки и размера зерен, формирующих лед, по глубине линий и полос. Поскольку СПИКАМ проводит наблюдения планеты непрерывно с 2004 г, массив данных может быть в дальнейшем использован для исследования пространственных и временных вариаций льда на сезонных и постоянных полярных шапках, а также для поиска и исследования конденсации CO<sub>2</sub> в низких широтах Марса (Piqueux et al., 2016)

Работа выполняется при поддержке гранта Правительства РФ №14.W03.31.0017.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Piqueux S., Armin Kleinböhl, Paul O. Hayne, David M. Kass, John T. Schofield, Daniel J. McCleese «Variability of the martian seasonal CO<sub>2</sub> cap extent over eight Mars Years», Icarus

- (2015), Volume 251, 1 May 2015, Pages 164-180
2. Wood S.E., David A. Paige, «Modeling the Martian seasonal CO<sub>2</sub> cycle: 2. inter-annual variability», *Icarus* (1992) Volume 99, Issue 1, p. 15-27; doi: 10.1016/0019-1035(92)90167-6
  3. Hourdin, Frederic; Forget, Francois; Talagrand, O., «The annual pressure cycle on Mars: Results from the LMD Martian atmospheric general circulation model» *American Astronomical Society* (1993), p 16-17
  4. Kahre, Melinda A.; Haberle, Robert M. «Mars CO<sub>2</sub> cycle: Effects of airborne dust and polar cap ice emissivity», *Icarus* (2010), doi: 10.1016/j.icarus.2009.12.016
  5. Korabely O., Jean-Loup Bertaux, Anna Fedorova, D. Fonteyn, A. Stepanov, Y. Kalinnikov, A. Kiselev, A. Grigoriev, V. Jegoulev, S. Perrier, E. Dimarellis, J. P. Dubois, A. Reberac, E. Van Ransbeeck, B. Gondet, F. Montmessin, and A. Rodin, «SPICAM IR acousto-optic spectrometer experiment on Mars Express», *JGR* (2006), doi:10.1029/2006JE002696
  6. Langevin, Y., et al. (2006). "No signature of clear CO<sub>2</sub> ice from the /'cryptic/' regions in Mars' south seasonal polar cap." *Nature* 442(7104): 790-792.
  7. Piqueux, Sylvain; Kleinböhl, Armin; Hayne, Paul O.; Heavens, Nicholas G.; Kass, David M.; McCleese, Daniel J.; Schofield, John T.; Shirley, James H. «Discovery of a widespread low-latitude diurnal CO<sub>2</sub> frost cycle on Mars», *JGR* (2016)

# ДВУМЕРНЫЕ БЕССИЛОВЫЕ ТОКОВЫЕ СЛОИ: УСТОЙЧИВОСТЬ МАГНИТНОГО ХВОСТА

**А.С. Лукин<sup>1,2</sup>, И.Ю. Васько<sup>1,3</sup>, А.В. Артемьев<sup>1,4</sup>, Е.В. Юшков<sup>1,5</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия  
*as.lukin.phys@gmail.com*

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа  
экономики», Факультет физики, Москва, Россия

<sup>3</sup>Калифорнийский университет, Беркли

<sup>4</sup>Калифорнийский университет, Лос-Анджелес

<sup>5</sup>Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, Москва, Россия

**Научный руководитель: Васько И.Ю., к.ф-м.н.**

Предполагается, что бессиловые плазменные конфигурации формируются в солнечной короне, тогда как прямые спутниковые наблюдения доказали существование бессиловых и почти бессиловых конфигураций в хвостах планетарных магнитосфер. В настоящее время существует ограниченный класс моделей для описания структуры подобных равновесий. В данной работе в рамках гидродинамического подхода разработаны модели двумерных аксиально-симметричных бессиловых и почти бессиловых равновесий. С помощью группового анализа показано, что уравнение Град-Шафранова с экспоненциальными и степенными нелинейностями может быть приведено к обыкновенным дифференциальным уравнениям для автомодельных (также называемых самоподобными) решений. Полученные автомодельные решения проанализированы аналитически и численно. Равновесия данного класса имеют вытянутую в радиальном направлении конфигурацию силовых линий, схожую с конфигурацией токовых слоев в магнитосферных хвостах планет. В рамках группового анализа удалось также построить почти бессиловые автомодельные равновесия с конечным градиентом плазменного давления. Обсуждаются недостатки и применимость разработанных моделей для описания токовых слоев в планетарных магнитосферах.

# УТОЧНЕННЫЕ КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОЙ КАЛИБРОВКИ МАСШТАБА МАСС СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК

**А.Р. Ляпин, Р.А. Буренин**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

*lyapin@iki.rssi.ru*

*Московский физико-технический институт (государственный  
университет) (МФТИ), Москва, Россия*

**Научный руководитель: Буренин Р.А., к.ф.-м.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

Измерение функции масс скоплений галактик является одним из основных методов получения ограничений космологических параметров. В настоящее время точность измерений функции масс скоплений ограничена неопределенностью калибровки масштаба масс скоплений. Поэтому, уточнение калибровки масштаба масс скоплений – необходимый шаг на пути к уменьшению неопределенностей в ограничениях на космологические параметры по данным о функции масс скоплений галактик.

В этой работе, используя измерения масс скоплений галактик по наблюдениям слабого гравитационного линзирования и эффекта Сюняева-Зельдовича, была получена уточненная калибровка масштаба масс скоплений, измеренных ранее по данным рентгеновских наблюдений телескопа Чандра в работе Вихлинина и др. (2009). Используя эту калибровку были уточнены ограничения на комбинацию амплитуды возмущений плотности и средней плотности Вселенной, полученные ранее по измерениям функции масс скоплений галактик.

Применяя метод исследования апостериорных распределений на основе марковских цепочек значений параметров при помощи моделирования Монте-Карло, были получены совместные ограничения на амплитуду возмущений плотности и среднюю плотность вещества во Вселенной по уточненным данным о функции масс скоплений галактик и по данным об анизотропии реликтового излучения полученным в обзоре обсерватории им. Планка. В дальнейшем уточненные данные измерений функции масс скоплений галактик будут использоваться для исследования ограничений различных космологических параметров в сочетании с другими наборами космологических данных.

# НЕМОНОТОННОСТИ В КРИВЫХ БЛЕСКА ПОСЛЕСВЕЧЕНИЙ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ

**Е.Д. Мазаева, А.С. Позаненко, А.А. Вольнова, П.Ю. Минаев**  
*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия  
30.v@mail.ru*

**Научный руководитель: Позаненко А.С., к.ф.-м.н.**  
*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

Обсуждается немонотонное поведение кривых блеска послесвечений гамма-всплесков в оптическом диапазоне. Построены кривые блеска гамма-всплесков совместно в оптическом (в основном, по оригинальным данным) и рентгеновском диапазонах (по данным XRT/Swift). Проведена аппроксимация кривых блеска степенной моделью с изломом и выделены отклонения относительно этой модельной кривой (немонотонности). Разработана феноменологическая классификация обнаруженных немонотонностей в оптическом и рентгеновском диапазонах.

# ШКАЛА РАССТОЯНИЙ ДО ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ КАК СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШКАЛЫ ВЫСОТ ГАЛАКТИКИ

**Л.А. Максимова**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

*lomara.maksimova@gmail.com*

**Научный руководитель: Холтыгин А.Ф., д.ф.-м.н.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

Проблема определения точных расстояний до планетарных туманностей до сих пор не решена. Обычно для построения шкалы расстояний используются статистические методы, основанные на методе Шкловского. Для калибровки шкал используются объекты, расстояния до которых известны с высокой точностью.

Взяв за основу кинематическую калибровку (Akimkin et al., 2012), опирающуюся на высокоточные определения расстояния до центра Галактики, и наблюдательные данные об угловых размерах туманностей и их радиопотоках, мы применили метод наибольшего правдоподобия для уточнения расстояний до 555 планетарных туманностей. Полученная шкала расстояний сравнивалась с широко известной шкалой SSV (Stanghellini et al., 2008).

С использованием модифицированной классификации планетарных туманностей (Reimbert 1978, Quireza et al., 2007), определяющей принадлежность той или иной туманности к галактическим подсистемам (тонкий и толстый диск, балдж и гало), был проведен анализ пространственной структуры Галактики.

В итоге, мы получили следующие значения шкал высот галактических подсистем: для объектов тонкого диска  $h = 208 \pm 10$  пк,  $h = 600 \pm 54$  пк для толстого диска, и  $h = 1378 \pm 180$  пк для ПТ гало.

# СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫЕ СВОЙСТВА РЕНТГЕНОВСКОЙ ДВОЙНОЙ GS 1834-02

**А.Н. Мелихов**

*Национальный Исследовательский Университет «Высшая Школа  
Экономики», факультет Физики, Москва, Россия  
anmelikhov@edu.hse.ru*

**Научный руководитель: Мольков С.В., к. ф.-м. н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

По данным орбитальной обсерватории NuSTAR мы провели спектрально-временные исследования излучения массивной двойной системы с рентгеновским пульсаром GS 1843-02. В частности, мы исследовали эволюцию периода собственного вращения нейтронной звезды во времени и оценили согласие полученных результатов с моделью изменения частоты, выведенной по всем данным наблюдений предыдущих декад. Также мы представляем как средние энергетические спектры излучения, так и спектральный анализ излучения в зависимости от фазы вращения пульсара.

# ГАММА-ВСПЛЕСК GRB 170817A, АССОЦИИРОВАННЫЙ С ГРАВИТАЦИОННО- ВОЛНОВЫМ СОБЫТИЕМ LIGO/VIRGO GW170817

**П.Ю. Минаев, А.С. Позаненко**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия  
minaevp@mail.ru*

Космический гамма-всплеск GRB 170817A был зарегистрирован в экспериментах GBM/Fermi и SPI-ACS/INTEGRAL спустя две секунды после регистрации детекторами LIGO/Virgo гравитационно-волнового события GW 170817. Это первая синхронная регистрация гамма-всплеска и гравитационно-волнового сигнала от слияния системы двух нейтронных звезд. GRB 170817A принадлежит к классу коротких всплесков. Нетипичным для этого класса является наличие эпизода излучения с тепловым спектром ( $kT \sim 10$  кэВ) следующим за коротким жестким начальным импульсом. Этот всплеск уникален еще и тем, что является наиболее близким всплеском из всех до сих пор зарегистрированных всплесков. Мы представляем совместное исследование этого всплеска по данным GBM/Fermi и SPI-ACS/INTEGRAL и сравнение с другими короткими всплесками. Результаты исследования не противоречат гипотезе наблюдения этого гамма-всплеска под большим углом к оси джета источника всплеска.



# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРА АРИЕС-Л

**Д.А. Моисеенко<sup>1</sup>, Р.Н. Журавлев<sup>1</sup>, А.Ю. Шестаков<sup>1</sup>, С.Д. Шувалов<sup>1</sup>,  
М.В. Митюрин<sup>2</sup>, И.И. Нечушкин<sup>2</sup>, Е.И. Родькин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия  
moiseenko-da@yandex.ru,*

<sup>2</sup> *ООО «НПП «Астрон Электроника»*

**Научный руководитель: Вайсберг О.Л., д.ф.-м.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

Прибор АРИЕС-Л – ионный энерго-масс спектрометр с широким полем зрения, разрабатываемый в рамках проекта ЛУНА-ГЛОБ. Поле зрения прибора близко к 2π, что в рамках эксперимента на посадочном аппарате даёт возможность одновременно регистрировать характеристики облучающего пучка (солнечный ветер) и характеристики вторичных ионов, выбиваемых солнечным ветром из лунного реголита, тем самым позволяя исследовать поверхность реголита методами вторичной ионной масс-спектрометрии. В состав прибора также входит конвертер нейтральных частиц, что позволяет регистрировать поток нейтральных атомов с поверхности Луны.

В докладе представлены результаты работ по созданию программно-аппаратного комплекса для автоматизации процесса исследования параметров прибора, приводятся результаты функциональных испытаний прибора АРИЕС-Л.

# ВЛИЯНИЕ ВСПЫШЕК СВЕТИМОСТИ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОТОПЛАНЕТНЫХ ДИСКОВ

**Т.С. Молярова<sup>1</sup>, В.В. Акимкин<sup>1</sup>, Д.З. Виебе<sup>1</sup>, Э.И. Воробьёв<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт астрономии РАН*

*molyarova@inasan.ru*

<sup>2</sup>*Венский университет*

**Научный руководитель: Акимкин В.В., к. ф.-м. н.**

*Институт астрономии РАН*

Вспышки светимости, подобные вспышкам звёзд типа FU Ori (фуоров), считаются решением проблемы светимости молодых звёзд - несоответствия низких наблюдаемых светимостей более высоким теоретическим предсказаниям. Большинство фуоров наблюдаются нами лишь в фазе повышенной аккреции, а продолжительность спокойной фазы может достигать десятков тысяч лет, оставляя малые шансы наблюдать вспышку у известного спокойного объекта. Однако вспышки могут оставлять след в химическом составе диска. Вызванное нагревом испарение распространённых льдов, таких как CO или CO<sub>2</sub>, может значительно повысить содержание этих молекул в газовой фазе, приводя к наблюдаемым отличиям [1]. В данной работе моделируется химическая эволюция протопланетных дисков в присутствии и по прошествии вспышки светимости.

Расчёты производятся с помощью астрохимического кода ANDES [2] на модели диска, описанной в работе [3]. Используется модифицированная сетка химических реакций ALCHEMIC [4], включающая поверхностную химию. Структура диска меняется с течением времени под действием фуороподобной вспышки светимостью 200 светимостей Солнца и продолжительностью около 50 лет. Рассматриваются диски разных масс и радиусов. Проводится анализ соединений различных химических соединений до, во время и после вспышки. Отбрасываются соединения, содержание которых в течение продолжительного времени после вспышки значительно превышает довспышечное содержание. Анализируется применимость таких соединений в качестве признаков пережитой диском вспышки светимости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Rab C., Elbakyan V., Vorobyov E. et al. The chemistry of episodic accretion in embedded objects. 2D radiation thermo-chemical models of the post-burst phase // *Astron. Astrophys.* — 2017. — Vol. 604. — P. A15. 1705.03946.
2. Akimkin V., Zhukovska S., Wiebe D. et al. Protoplanetary Disk Structure with Grain Evolution: The ANDES Model // *Astrophys. J.* — 2013. — Vol. 766. — P. 8. 1302.1403.
3. Molyarova T., Akimkin V., Semenov D. et al. Gas Mass Tracers in Protoplanetary Disks: CO is Still the Best // *Astrophys. J.* — 2017. — Vol. 849. — P. 130. 1710.02993.
4. Semenov D., Wiebe D. Chemical Evolution of Turbulent Protoplanetary Disks and the Solar Nebula // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 2011. — Vol. 196. — P. 25. 1104.4358.

# ПРОЦЕССЫ ЗАРЯДКИ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЕ: ПРОБЛЕМА ДРОБЛЕНИЯ ЧАСТИЦ И ДОСТИЖЕНИЯ ЧАСТИЦАМИ ВЫСОКИХ ЗАРЯДОВ

**Т.И. Морозова<sup>1,2</sup>, С.И. Копнин<sup>1,2</sup>, С.И. Попель<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия  
timoroz@yandex.ru*

<sup>2</sup> *Московский физико-технический институт (Государственный Университет), Москва, Россия*

**Научный руководитель: Попель С.И., д.ф.-м.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

*Московский физико-технический институт (Государственный Университет), Москва, Россия*

Зарядка пылевых частиц под действием жесткого рентгеновского излучения осуществляется за счет ионного тока, электронного тока, фотоэлектронного тока, а также обратного тока фотоэлектронов с частиц, окружающих пылевую частицу, что может приводить к созданию достаточно высоких величин положительных зарядов на поверхности, при которых происходит разрушение частиц. Рассматриваются условия и конкретные параметры пылевой плазмы, при которых пылевые частицы могут дробиться и разделяться на фракции.

При зарядке пылевых частиц высокоэнергетичным пучком электронов существенное влияние на величину заряда пылевой частицы оказывает ток автоэлектронной эмиссии. Именно этот ток значительно снижает величину отрицательного заряда на частице. Под воздействием достаточно интенсивного потока электронов пучка, пылевые частицы в плазме могут приобретать предельно высокие заряды, что подтверждается проводимыми экспериментами по аномально высокой зарядке пылевых частиц.

Рассматриваются возможные приложения данных процессов зарядки пылевых частиц в космической плазме, возможность их дробления под действием рентгеновского излучения и возможность достижения аномально высоких зарядов пылевыми частицами под воздействием пучков электронов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (Проект № 17-12-01458).

# ВОЗМОЖНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА НУРЕКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

**И.Д.Мухамеджанов<sup>1</sup>, И.А.Уваров<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Факультет космических исследований МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
ildarmsu@gmail.com*

<sup>2</sup> *ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

**Научный руководитель: Лупян Е.А., д.т.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

*Факультет космических исследований МГУ им. М.В. Ломоносова*

В настоящее время в южных и северо-западных районах Узбекистана, в особенности Кашкадарьинской, Сурхандарьинской областях, Республике Каракалпакстан наблюдается острая нехватка пресной воды, как питьевой, так и поливочной. Основной водной артерией для этих зон является река Амударья, состоящая из двух притоков, реки Вахш и Пяндж. Первая берет истоки на Памире, в районе пика им. Е. Корженевской. Ниже по течению, на территории Таджикистана, располагается Нурекское водохранилище, на котором в настоящее время активно ведётся строительство 335-метровой плотины. Поэтому постоянный мониторинг состояния и динамики водохранилища важен для оценки водных ресурсов, поступающих в Узбекистан.

В докладе представлены результаты анализа возможности дистанционного мониторинга Нурекского водохранилища с использованием данных различных спутниковых систем. Приводятся результаты анализа спутниковых данных которые могут быть использованы для проведения мониторинга, в том числе обсуждаются особенности обработки различных типов данных для получения площади водного зеркала. Представлены результаты сравнения оценок площади зеркала получаемых на основе данных различных спутниковых систем. Представлена статистика наличия данных, которые могут быть использованы для оценки площади водного зеркала в период с 1999 по 2017 годы. Представлены первые результаты оценки динамики площади водного зеркала Нурекского водохранилища за 2016-2017. Работы выполнялись с использованием возможностей спутникового сервиса BEGA-Science.

Результаты работы могут быть полезны при анализе распределения водных ресурсов и созданию благоприятных условий для выращивания различных культур в южной и северо-западной части Узбекистана, а также усовершенствовании системы постоянного контроля состояния водных объектов в Узбекистане.

# ЛУННЫЕ ВАЛУНЫ КАК ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА В МОЛОДЫХ УДАРНЫХ КРАТЕРАХ

**Ч.Р. Мухаметшин, А.А. Семенов, М.И. Шпекин**  
*Казанский Федеральный Университет*  
*alanparker17@bk.ru*

**Научный руководитель: Шпекин М.И., к.ф.-м.н.**  
*MichaelS1@yandex.ru*

Лунные валуны хорошо видны на снимках 40-летней давности, в частности, на снимках панорамной камеры кораблей «Аполло-15,-16,-17». Однако внимание исследователей валуны привлекли сравнительно недавно, а именно, после запуска спутника LRO. Такая задержка объясняется, по-видимому, тем, что снимки кораблей «Аполлон» покрывают лишь небольшую часть лунной поверхности. Кроме того, эти снимки были долгое время доступны лишь ограниченному кругу специалистов пока не были оцифрованы и стали выкладываться в открытый доступ начиная с 2008 года. Тогда как орбитальная съемка спутника LRO покрывает всю территорию Луны и с самого начала доступна всем желающим.

В докладе представлены результаты изучения валунов в молодых ударных кратерах. В число таких кратеров вошли кратеры Циолковский и Эйткен на обратной стороне Луны и кратеры моря Восточного в краевой зоне Луны.

В кратере Циолковский были выбраны две области с валунами. Это его центральная горка и область на днище кратера в районе вулкана, обнаруженного нами ранее [1].

Валуны в районе центральной горки привлекли наше внимание характером следов, которые они оставили при своем движении по склонам и днищу кратера. Снимки высокого разрешения позволяют детально рассмотреть форму следа с его сложной топографией, а также оценить размеры следа и его глубину. Форма следа от качения валуна по склону, а также его глубина обусловлены не только строением самого валуна, но отражает и свойства самого склона. В частности, по глубине следа можно оценить механические свойства вещества самого склона вдоль следа и составить некоторое представление о состоянии вещества, из которого он сложен.

Вторая область расположена к северо-востоку от центральной горки и представляет собой небольшой вулкан на плюмовом основании. Строение вулкана и его параметры были оценены по одиночным снимкам «Аполлона-17». На этих снимках хорошо видно, что область вулкана состоит из трех частей: центральная часть и две части с материалом выбросов. Все три выделенных части содержат в себе валуны различных размеров. Валуны центральной части особенно интересны тем, что они разбросаны на значительной территории в радиальных направлениях. Направления выбросов указывает на малую углубленную область в центральной части вулкана, откуда были выброшены валуны. Эта область не видна на снимках «Аполлона-17», но уверенно просматривается на снимках узкоугольной камеры LRO. Ее поверхность не содержит ни одного валуна, имеет светлую хорошо отражающую окраску, которая еще не тронута лунной пылью. По-видимому, это самая свежая по возрасту часть вещества вулкана, открывшаяся в результате выброса валунов.

В кратере Эйткен была выбрана область в южной части его центральной горки, названная нами ранее «ледниково-подобным языком» [2]. Фронтальная часть названного языка содержит значительное число валунов, разбросанных радиально в разные стороны. При этом направления разброса явно указывает на заметное углубление во фронтальной части языка, из которого выброшены валуны. В работе [2] авторы отмечают, что ледниково-подобный язык в кратере Эйткен может содержать значительное количество вмороженного в грунт водяного льда, а одной из возможных причин его движения назван дневной прогрев материала языка. Важно отметить, что очаг выбросов находится во фронтальной части языка, а сам язык напоминает обычные земные горные ледники,

которые в своем движении гонят перед собой многочисленные камни.

Независимо от природы сил, которые приводят к выбросам валунов в двух рассмотренных кратерах, по снимкам высокого разрешения удается уверенно определить очаги выбросов. Положение этих очагов однозначно указывает на элементы рельефа в молодых ударных кратерах, состояние вещества которых существенно отличается от привычного лунного грунта. По-видимому, указанные очаги и их окрестности могут представлять практический интерес при выборе мест бурения.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Шпекин М.И. Один маленький шаг человека (к 40-летию высадки людей на Луну) Сайт Казанского госуниверситета, 16 июля 2009. Раздел «Новости» [http://www.ksu.ru/f6/k8/bin\\_files/ols!38.pdf](http://www.ksu.ru/f6/k8/bin_files/ols!38.pdf)
2. Barenbaum A.A., Shpekin M.I. About Age of the Lunar Surface. Proceedings of Annual Conference on Experimental Petrology, Mineralogy and Geochemistry April 19-20, 2011, Moscow, Russia, GEOKHI RAS. 5p. <http://onznews.wdcb.ru/publications/v03/asempg11en/2011NZ000141.pdf>

# ВС-ПИД-РЕГУЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРРЕКТИРУЮЩАЯ САМОДИАГНОСТИКА ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА АО «КОРПОРАЦИЯ «ВНИИЭМ»

**В.В. Некрасов**

АО «Корпорация «ВНИИЭМ» (Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна») [vvv17@list.ru](mailto:vvv17@list.ru)

Для осуществления управления различными космическими аппаратами (КА) в качестве исполнительного органа системы ориентации и стабилизации применяются двигатели-маховики (ДМ). С появлением микроконтроллерной техники появились новые возможности в управлении ДМ. ДМ с цифровым микроконтроллерным управлением (ДМ-МК) создан на импортонезависимой электронной компонентной базе и является новым поколением ДМ, разрабатываемым в АО «Корпорация «ВНИИЭМ».

Цифровое управление реализовано микроконтроллерным модулем (МКМ). МКМ интегрирован в аналоговую схему ДМ, разработанного и выпускаемого в АО «Корпорации «ВНИИЭМ», дополненную оптоэлектрическим датчиком.

Основываясь на опыте АО «Корпорации «ВНИИЭМ» совместного создания управляющих систем КА с иностранными компаниями; анализе доступной информации различных отечественных и зарубежных производителей ДМ; взяв за основу накопленный опыт разработки ДМ в АО «Корпорации «ВНИИЭМ», были определены основные режимы работы нового ДМ-МК. Был разработан алгоритм работы ДМ-МК, проанализированы, предложены и осуществлены пути оптимизации и самодиагностики создаваемого изделия при работе в данных режимах, что создало новые возможности в управлении ДМ, а, следовательно, и КА.

Технические особенности ДМ-МК, обеспеченные цифровым микроконтроллерным управлением:

- Цифровая схема управления, реализованная микроконтроллерным модулем (МКМ), обеспечивает управление в двух режимах: по заданному крутящему моменту (режим управления моментом) и по частоте вращения ротора (режим управления скоростью). Ранее режим управления скоростью не использовался в разработках двигателей-маховиков АО «Корпорация «ВНИИЭМ». В данном режиме применен инновационный алгоритм высокоскоростного ПИД-регулирования (ВС-ПИД-регулирование), предложенный и реализованный автором, позволивший обеспечить выход и стабилизацию заданной скорости более чем в 3 раза быстрее (во всем диапазоне скоростей) по сравнению с классической системой ПИД-регулирования. ВС-ПИД-регулирование наилучшим образом осуществляет концепцию создания быстродействующей системы необходимой для обеспечения управления высокодинамичным КА.
- В программные алгоритмы введена самодиагностика системы (также предложенная и реализованная автором). Самодиагностика осуществляет не только контролируемую функцию с последующей передачей информации в бортовой комплекс управления (БКУ), но и автоматическую коррекцию диагностируемых параметров. Также осуществляется коррекция нелинейной передаточной функции, оперативное выявление неисправности ДМ-МК и реализован алгоритм работы в случае нештатной потери связи с БКУ КА.
- На базе МКМ организована связь по мультиплексному каналу обмена (МКО) с БКУ КА (интерфейс по ГОСТ 52070-2003).

Внедрение ДМ-МК планируется в 2019 году.

# СИНТЕЗ АЛГОРИТМА СКОРОСТНОГО ГРАДИЕНТА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОРБИТАЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В ОКРЕСТНОСТИ КОЛЛИНЕАРНОЙ ТОЧКИ ЛИБРАЦИИ

**А.Ф. Нечунаев**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия,  
vvkgu@yandex.ru*

В настоящее время исследование Солнечной системы и далекого Космоса весьма удобно проводить с космических аппаратов, находящихся в окрестности коллинеарной точки либрации  $L_1$  системы Земля-Солнце. В системе Солнце—Земля точка  $L_1$  может быть идеальным местом для размещения космической обсерватории для наблюдения Солнца, которое в этом месте никогда не перекрывается ни Землей, ни Луной. На орбите, проходящей вблизи этой точки, работает с мая 1996 года аппарат SOHO (Solar & Heliospheric Observatory). Космические аппараты ISEE-3, ACE, WIND, а также DSCOVR работали в разное время на орбитах, проходящих близ этой точки. Нахождение аппарата SOHO в окрестности коллинеарной точки либрации  $L_1$  весьма продуктивно - число комет, открытых с помощью SOHO, превысило в настоящий момент 1500 [1].

В работе [1] приводится построение семейства управлений, обеспечивающих асимптотическую устойчивость по четырем из шести фазовых переменных, и показывается, что по оставшимся двум переменным обеспечивается устойчивость по Ляпунову. В качестве математической модели движения космического аппарата принималось хилловское приближение круговой ограниченной задачи трех тел. Считалось, что управление действует по линии Земля-Солнце (координатная ось первой из трех координатных переменных направлена на Солнце). Управление космическим аппаратом связывалось с вектором импульсов. Движение космического аппарата и управление им описывается системой дифференциальных уравнений, преобразованной в удобную для исследования форму - форму Коши [1]. После нахождения необходимых частных производных от гамильтониана была введена целевая функция [2], согласно разработанных методик построения алгоритмов скоростного градиента автора источника [3]. После нахождения скорости изменения целевой функции в силу управляемой системы был синтезирован алгоритм скоростного градиента в линейном и релейном вариантах. Интересующие нас условия достижения цели управления получены из соответствующих теорем [4].

На основе математической модели движения космического аппарата выполнен синтез алгоритма скоростного градиента для управления орбитальным движением космического аппарата вблизи коллинеарной точки либрации. При помощи вычислительного эксперимента и анализа графических зависимостей управления показано, что достижение цели управления в случае применения такого алгоритма происходит за меньшее время по сравнению с другими алгоритмами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шмыров А.С., Шмыров В.А. Об асимптотической устойчивости по отношению к части переменных орбитального движения космического аппарата в окрестности коллинеарной точки либрации / Вестник Санкт-Петербургского университета, серия 10.2009, выпуск 4, 2009.
2. Фрадков А.Л. Схема скоростного градиента и его применения в задачах адаптивного управления / А.Л. Фрадков // Автоматика и телемеханика, 9 (1979), с.90-101
3. Фрадков А.Л. Кибернетическая физика: принципы и примеры / А.Л.Фрадков. – СПб.: Наука, 2003. – 208с.
4. Управление мехатронными вибрационными установками /Б.Р.Андривевский, И.И.Блехман, Ю.А.Борцов, С.В.Гаврилов, В.А.Коноплев, Б.П.Лавров, Н.Д.Поляхов, О.П.Томчина, А.Л.Фрадков, В.М.Шестаков; ред. И.И.Блехмана и А.Л.Фрадкова. СПб.: Наука, 2001.278с.



# МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В ИОНОСФЕРЕ ПО СХЕМЕ РЕГИСТРАЦИИ ДАННЫХ СПУТНИК-СПУТНИК

**П.Н. Николаев**

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия  
pnikolayev@gmail.com*

**Научный руководитель: Филонин О.В., д.т.н.**

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия*

Состояние ионосферы существенно зависит от гелио- и геомагнитной активности, кроме того ионосфера способна «отражать» геофизические события, так в работе [1], описывается связь изменений в ионосфере с землетрясениями. Поскольку параметры ионосферы меняются с течением времени, существует потребность в оперативном мониторинге ионосферы, позволяющем получать информацию о её состоянии в реальном времени.

В настоящее время с развитием навигационных спутниковых систем стало возможным осуществлять дистанционное зондирование ионосферы в широком диапазоне различных позиций приемопередающих систем и производить реконструкцию её структуры на основе методов компьютерной томографии.

Непрерывно получать информацию о профиле электронной концентрации в ионосфере позволяет схема регистрации сигналов с использованием приёмных и передающих устройств на спутниках группировки, предложенная в [2]. Тем не менее, при использовании данной схемы регистрации сигналов в проекциях (в томографическом смысле) лежит недостаточное количество отсчетов для использования традиционных методов томографии и задача является малоракурсной с большой степенью некорректности. Точность решения задачи томографии при использовании алгебраических методов реконструкции [2-3] зависит от сложности аппроксимации проекционного оператора в СЛУ, при увеличении которой время решения СЛУ возрастает. Кроме того точность решения задачи зависит от начального приближения в алгоритме реконструкции.

В данной работе предлагается метод малоракурсной томографии, разработанный на основе алгоритма свёртки, применяемый к данным, полученным по схеме регистрации спутник-спутник. Использование данного метода, в перспективе, позволит осуществлять первичную оценку электронной концентрации на борту спутника, сокращая количество информации, передаваемое на Землю, что невозможно с использованием алгебраических методов реконструкции.

Предлагаемый метод состоит из двух этапов: на первом этапе доопределяются недостающие отсчеты в проекциях с использованием априорной информации о виде радоновского образа проекции и площади проекции; на втором этапе используется алгоритм свёртки с подбором динамического ядра.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пулинец, С.А., Д.П. Узунов, Д.В. Давиденко, С.А. Дудкин, Е.И. Цадиковский, Прогноз землетрясений возможен?! - М.: «Тривиант», 2014. - 144 с.
2. Романов, А.А., А.А. Романов, С.В. Трусов, А.В. Новиков, А.В. Аджалова, А.А. Романов, В.А. Селин. Восстановление двумерного распределения электронной концентрации ионосферы в плоскости орбиты низкоорбитальных ИСЗ на основе анализа характеристик когерентного излучения // Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. - М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009. -Т. 111. сс. 37 – 42.
3. Куницын, В. Е., В.Е. Куницын, Е.Д. Терещенко, Е.С. Андреева. Радиотомография ионосферы. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 316 с.

# ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ГРУНТОЗАБОРНЫХ УСТРОЙСТВ, УДОВЛЕТВОРЯЮЩИХ ТРЕБОВАНИЯМ КРИОГЕННОГО БУРЕНИЯ

**А.В. Носов**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия  
nosov.a.iki@gmail.com*

**Научный руководитель: Литвак М.Л., д.ф.-м.н., профессор РАН**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

Программа будущих лунных исследований, предлагаемая российским и зарубежными космическими агентствами, в качестве основной цели формулирует обеспечение длительного пребывания человека на Луне и создание постоянно функционирующих лунных баз, предназначенных, в том числе, и для добычи лунных полезных ископаемых. Подготовка к реализации такой программы требует более детального изучения поверхностного слоя Луны, его химического состава, физических свойств и структуры. Для подтверждения гипотез о свойствах лунной поверхности, полученных на основе данных с орбитальных аппаратов, необходимо непосредственное изучение проб грунта, взятых с разных глубин с возможностью сохранения летучих соединений.

Создание нового поколения грунтозаборных устройств требует подробного изучения опыта (как успешного, так и неудачного) предыдущих миссий, понимания принципов использованных методик бурения и определения главных достоинств и недостатков разработанных ГЗУ. На сегодняшний день имеется обширный опыт изучения лунной поверхности советскими аппаратами Луна-16, Луна-20, Луна-24 и аппаратами НАСА серии «Аполлон». грунтозаборных устройств, использованных в этих миссиях, а также других прототипов ГЗУ прошедших наземных отработки представлено в нашем исследовании.

Основной недостаток, объединяющий многие ранее созданные буровые устройства, связан с тем, что они не содержат специальных конструктивных и технологических решений, направленных на обеспечение минимального теплового воздействия на отбираемую пробу грунта и реализацию многократного отбора дискретных проб грунта с различных уровней скважины.

Сейчас наибольший интерес для исследования представляют полярные области Луны, которые представляются наиболее перспективными с точки зрения дальнейшего изучения свойств лунного реголита, поиска летучих соединений и даже выбора локаций для будущей лунной базы. Здесь можно осуществить переработку лунного реголита для получения воды, кислорода и топлива для обеспечения длительных экспедиций.

Для решения поставленных задач необходимо создание нового поколения компактных грунтозаборных устройств (установка на посадочные модули и луноходы), способных обеспечить криогенный забор грунта. Под криогенным забором следует понимать извлечение грунта с минимальным тепловым воздействием на отбираемую пробу, при котором сохраняются летучие соединения. При этом необходимо обеспечить извлечение проб грунта с глубины более 1 метра с сохранением стратификации, а затем максимально быстро передать их на анализ в аналитические приборы. Опираясь на опыт предыдущих лунных миссий, в данном исследовании предложена методика извлечения проб грунта, а также некоторые технические решения, соответствующие вышеназванным требованиям.

# ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОРТОВЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛА

Е.В. Окунев<sup>1</sup>, А.О. Жуков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «ОКБ «МЭИ»

*kve0r@rambler.ru*

<sup>2</sup>Институт астрономии РАН

Развитие авиационной техники привело к созданию летательных аппаратов способных развивать скорости, намного превышающие скорость звука как в космическом пространстве, так и в земной атмосфере. Таким высокоскоростным ЛА, как и любым другим аппаратам, необходимы каналы радиосвязи с пунктами управления на Земле или радиосвязи с другими ЛА.

Условия работы радиотехнических бортовых систем высокоскоростных ЛА отличаются от работы обычных ЛА в силу особенностей эксплуатации бортовых антенн канала радиосвязи – при движении в атмосфере на скоростях, много превышающих скорость звука (в 5 раз и более), в окрестности ЛА возникают радиофизические явления, препятствующие нормальной работе бортовых антенн. Это такие явления как ударная волна, скачкообразное изменение давления, плотности и температуры набегающего на ЛА воздушного потока, образование плазменной оболочки вокруг корпуса ЛА. Значения температуры поверхности высокоскоростного ЛА могут превышать несколько тысяч градусов.

Такие тяжелые условия налагают на бортовые системы радиосвязи жесткие условия – внедрение теплозащиты бортовых антенн, выбор нагревостойких и радиопрозрачных материалов с подходящими параметрами. Одновременно антенна должна удовлетворять требованиям масса - габаритных параметров и радиолокационным требованиям.

В качестве материалов теплозащиты наиболее часто используют диэлектрики из группы оксидов (например, на основе  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BeO}$  и т.д.) или композиционные материалы, имеющие сложный химический состав. В статье рассмотрено влияние высоких температур на основные характеристики диэлектриков - диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$  и тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$ .

Гораздо более существенное влияние на характеристики антенной системы, а значит и на эффективность бортовых систем радиосвязи может оказать наличие пленки расплава теплозащиты (по своим электрическим свойствам расплав диэлектрика близок к проводникам). Этот важный аспект представлен в статье в виде оценок влияния пленки расплава теплозащитных материалов на мощность полезного сигнала.

# ПОИСКИ МЕТАНА И ЕГО ПРОИСХОЖДЕНИЕ КАК ВОЗМОЖНОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА МАРСЕ

**Т. Ш. Осмаев**

*Российский Университет Дружбы Народов  
trk.osmv@gmail.com*

**Научный руководитель: Беляев Д.А.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук,  
Москва, Россия*

После множественных исследований на Марсе в 2004 г. был обнаружен метан, это способствовало развитию полемики вокруг этого. Во-первых, газ был детектирован на пороге чувствительности приборов  $\sim 10$  ppb (планетный Фурье-спектрометр ПФС на борту КА «Марс Экспресс» (Formisano et al., 2004; Geminale et al., 2008), наземные спектрометры высокого разрешения [Krasnopolsky et al., 2004; Mumma et al., 2009]). Во-вторых, наблюдалась высокая вариация в содержании метана [Mumma et al., 2009], что не согласуется с существующей теорией – концентрация метана считается неизменной на протяжении нескольких сотен лет. На данный момент Кьюриосити проводит исследование метана в атмосфере Марса.

Исследуемый газ измеряется в капсуле длиной 50 м с очень высоким спектральным разрешением ( $\lambda/\Delta\lambda \sim 10^4$ ). По первым данным установлен верхний предел содержания порядка  $\sim 3$  ppbv. На борту КА «Фобос-Грунт» был установлен эшелле-спектрометр ТИММ с разрешением  $\lambda/\Delta\lambda \sim 50000$  для детектирования метана в полосе 3.3 мкм (Korablev et al., 2013). В рамках программы «ЭкзоМарс» в 2016 году планируется запуск орбитального зонда к Марсу – Trace Gas Orbiter (TGO). На борту будет находиться ряд спектрометров высокого разрешения (ACS, NOMAD), способных детектировать поглощение метана в полосе 3.3 мкм методом солнечного просвечивания и, тем самым, определить высотный профиль содержания газа, частично восполнив утерянные эксперименты АОСТ и ТИММ на КА «Фобос-Грунт». Кроме того, по результатам многочисленных наблюдений с наземных телескопов недавно была опубликована статья с детальным анализом органических соединений в атмосфере Марса (Villanueva et al., 2013) – содержание метана оценивается верхним пределом около 7 ppbv.

Содержание метана в атмосфере земли, может говорить о развитии там биологических процессов, что является священным граалем в планетологии в частности, и в мировоззрении в общем.

# АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПАРОСОДЕРЖАНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ МИКРОВОЛНОВОГО ПРИБОРА МТВЗА-ГЯ (МЕТЕОР-М №2)

**Е.В. Пашинов**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук,  
Москва, Россия  
pashinove@mail.ru*

**Научный руководитель: Шарков Е.А., д. ф.-м. н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук,  
Москва, Россия*

Водяной пар — один из важнейших элементов, участвующих в формировании климата нашей планеты. Отслеживание динамики и определение параметров воздушных масс, насыщенных водяным паром, является актуальной научной задачей. Для решения данной задачи в настоящее время активно применяется анализ глобальных полей паросодержания атмосферы, получение которых стало возможным благодаря развитию спутниковой микроволновой радиометрии.

Для восстановления интегрального паросодержания атмосферы обычно применяются пассивные микроволновые измерения в полосе поглощения водяного пара - 22 ГГц. Преимуществом таких измерений является практически всепогодность в отличие, например, от инфракрасных измерений. Существенным ограничением для микроволновых методик обычно служит сильная изменчивость излучательных характеристик подстилающей поверхности. Так, например, стандартные методы практически не позволяют проводить измерения интегрального паросодержания над поверхностью суши.

В 2014 году на борту спутника Метеор – М №2 был запущен отечественный микроволновый прибор МТВЗА-ГЯ, и до сих пор в литературе не было предложено простого алгоритма для восстановления интегрального паросодержания атмосферы на основе его данных. В результате сотрудничества отдела «Исследования Земли из космоса» Института Космических Исследований РАН и НТЦ «Космонит» появилась возможность получить данные измерений прибора МТВЗА-ГЯ и провести разработку данного алгоритма.

МТВЗА-ГЯ имеет инструментальную особенность: наличие каналов как вертикальной, так и горизонтальной поляризации на частоте 23,8 ГГц. Такой набор поляризационных каналов есть лишь на нескольких спутниковых приборах, и одним из них является прибор AMSR-E, проработавший с 2002 по 2011 год на спутнике Aqua. В 2007 году для этого прибора была предложена методика, использующая наличие как вертикальной, так и горизонтальной поляризации у канала 23,8 ГГц прибора AMSR-E для восстановления интегрального паросодержания атмосферы как над океаном, так и над поверхностью суши. Авторы предлагали алгоритм, использующий поляризационную разность на каналах 18,7 ГГц и 23,8 ГГц. Поскольку МТВЗА-ГЯ имеет схожий набор частотных каналов, то можно предположить, что подобный алгоритм можно применить и к данному прибору.

В ходе работы оригинальный алгоритм для прибора AMSR-E был проанализирован и переработан для характеристик прибора МТВЗА-ГЯ. Была проведена статистическая обработка данных прибора МТВЗА-ГЯ совместно с данными зондовых измерений над шестью малыми островами в Тихом океане. По результатам статистической обработки были подобраны регрессионные коэффициенты, обеспечивающие наилучшее соответствие подспутниковых данных об интегральном паросодержании атмосферы, измеренных метеозондами, с данными, восстановленными по разработанному алгоритму. Для разработанного алгоритма среднее значение ошибки восстановления интегрального паросодержания составило 0,0332 мм и СКО ошибки составило 4,7 мм. Коэффициент линейной корреляции между восстановленными и зондовыми значениями интегрального паросодержания составил 0,945.

# УСТРОЙСТВА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОБРАЗЦОВ ГРУНТА НЕБЕСНЫХ ТЕЛ ДЛЯ ТЕКУЩИХ И БУДУЩИХ КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ

**А.С. Перхов**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук,  
Москва, Россия  
perhov-alexandr@mail.ru*

**Научный руководитель: Литвак М.Л., д.ф.–м.н., профессор РАН**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук,  
Москва, Россия*

В исследовании планет, их спутников и малых тел Солнечной системы важную роль играет изучение различных свойств поверхности и подповерхностного слоя планетного грунта. Для полноценной реализации таких исследований как правило используются устройства бурения, забора, обработки и анализа образцов грунта, установленные на борту посадочных миссий и планетоходов. В этой цепочке большое внимание уделяется различным методам предварительной обработки образцов грунта и их подготовки наиболее оптимальным образом для последующего анализа аналитическими научными приборами. Это доказывает опыт многолетних исследований Марса с помощью марсоходов НАСА Спирит, Оппортьюнити и Кьюриосити. Поэтому создание соответствующих многофункциональных устройств и механизмов является одной из важных задач для будущих перспективных лунных и марсианских миссий (не только научных, но и колонизаторских), планируемых российским и другими зарубежными космическими агентствами.

При разработке новых методов и устройств, обеспечивающих забор и исследование образцов грунта, важной составляющей является подробный анализ существующих разработок и методик космического эксперимента, уже применявшихся на практике. Это позволит выявить их особенности, достоинства и недостатки, сравнить конструкции устройств и сформулировать требования к новому перспективному устройству для будущих космических миссий.

В данном исследовании проведен сравнительный анализ устройств, предназначенных для предварительной обработки и передачи собранных образцов грунта в аналитические приборы и использовавшихся в лунных, марсианских и венерианских миссиях. На основе сравнительного анализа были предложены новые методы и подходы к созданию перегрузочного устройства для будущих лунных миссий.

# ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГАММА-ТЕЛЕСКОПОВ К ПАРАМЕТРАМ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

**Е.И. Подлесный<sup>1,2</sup>, Т.А. Джатдоев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова", Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ), Москва, Россия  
podlesnyi.ei14@physics.msu.ru

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова", физический факультет, Москва, Россия

**Научный руководитель: Джатдоев Т.А., к.ф.-м.н.**

Внегалактическое магнитное поле (Extragalactic magnetic field, EGMF), которое заполняет межгалактическое пространство, в настоящее время изучено крайне слабо. Неопределённость значений основных параметров EGMF весьма велика. Так, согласно современным ограничениям, напряжённость EGMF составляет  $10^{-17}$  Гс  $\leq B \leq 10^{-9}$  Гс, а длина корреляции (характерная длина, на которой магнитное поле практически однородно) –  $10^{-6}$  Мпк  $\leq \lambda \leq 10^3$  Мпк.

Помимо магнитного поля межгалактическое пространство заполняет реликтовое фоновое излучение (Cosmic Microwave Background, CMB) и внегалактическое фоновое излучение (Extragalactic Background Light, EBL). Высокоэнергичные  $\gamma$ -кванты от активных ядер галактик – блазаров – могут взаимодействовать с фотонами EBL в процессе  $\gamma + \gamma_{EBL} \rightarrow e^+ + e^-$ . Образующиеся электроны движутся в магнитном поле и могут отклоняться (на углы  $\theta > 0.1^\circ \dots 1^\circ$ ) от первичного распространения  $\gamma$ -кванта. Затем электроны испытывают обратное комптоновское рассеяние на CMB:  $e + \gamma_{CMB} \rightarrow e' + \gamma'$ . В результате  $\gamma'$ -квант следующего поколения излучается под углом к первоначальному направлению движения исходного  $\gamma$ -кванта. При наблюдении блазара у Земли может возникнуть ряд особенностей наблюдаемых характеристик  $\gamma$ -излучения, таких как уширение углового распределения регистрируемых каскадных  $\gamma$ -квантов и магнитный завал спектра – уменьшение доли наблюдаемых низкоэнергичных  $\gamma$ -квантов из-за большого угла их отклонения от направления распространения первичного  $\gamma$ -кванта. По этим особенностям, в принципе, можно измерить значения параметров EGMF. В условиях неизвестности свойств EGMF вопрос о том, в какой области значений в пространстве параметров EGMF ( $B, \lambda$ ) (далее - область чувствительности) современные гамма-телескопы, как уже работающий космический гамма-телескоп Fermi-LAT (Fermi large area telescope), так и проектируемые телескопы CTA (the Cherenkov telescope array), ГАММА-400 (Гамма-Астрономическая Многофункциональная Модульная Аппаратура), GRAINE (Gamma-Ray Astro-Imager with Nuclear Emulsion), способны будут определить значения этих параметров, представляется важным и актуальным.

С помощью численного моделирования описанного процесса распространения  $\gamma$ -квантов от блазаров к Земле можно рассчитать характеристики наблюдаемого  $\gamma$ -излучения при различных значениях параметров EGMF. В данной работе на основе результатов численного моделирования определены области чувствительности гамма-телескопов Fermi-LAT, CTA, ГАММА-400, GRAINE к параметрам внегалактического магнитного поля.

# СРАВНЕНИЕ СПЕКТРОВ КОМЕТ C/2001 Q4 (NEAT), C/1999 S4 (LINEAR) И 67P/ЧУРЮМОВА — ГЕРАСИМЕНКО И ВОЗМОЖНЫЕ ОТЛИЧИЯ В СОСТАВЕ ИХ ВЕЩЕСТВА

**Д.К. Полюшкина<sup>1</sup>, В.В. Бусарев<sup>2</sup>, А.Л. Зиманова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

*darja\_poliushkina@mail.ru*

<sup>2</sup>*Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

**Научный руководитель: Бусарев В.В., д.ф.-м.н.**

*Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ, Москва, Россия*

Основными целями данной работы являются:

- переопределение шкалы длин волн по спектру Солнца и эмиссионным линиям земной атмосферы эшелле-спектров двух комет C/2001 Q4 и C/1999 S4, ранее полученных в Шемахинской обсерватории соответственно 25 июня 2004 года и 23 июля 2000 года (А. С. Гулиевым, Х. М. Микаиловым), с последующей идентификацией новых эмиссионных линий полициклических ароматических углеводородов и простейших молекул;
- сравнение простейших молекул, обнаруженных в кометах C/2001 Q4 и C/1999 S4, с простейшими молекулами, обнаруженными в комете 67P/Чурюмова — Герасименко и интерпретация возможных отличий.

Полициклические ароматические углеводороды, найденные в кометах C/2001 Q4 и C/1999 S4, идентифицировались по каталогу Теплицкой, а простейшие молекулы по спискам молекул, найденных в других кометах зарубежными исследователями: кометы Хейла-Боппа (H. W. Zhang, 2001), Девико (Anita L. Cochran and William D. Cochran, 2002) и Свифта-Туттля + Брорзена-Меткалфа (M.E. Brown, 1996).

В итоге были получены сводные таблицы обнаруженных веществ. С большой вероятностью можно говорить о том, что в спектре кометы C/2001 Q4 содержатся: C<sub>2</sub>, NH<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>, CN; коронен, хризен, флуорантен, тетрафен, пирен, в спектре кометы C/1999 S4 - C<sub>2</sub>, NH<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>, CN; тетрафен. В спектре кометы 67P/Чурюмова — Герасименко были идентифицированы следующие простейшие молекулы: C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, NH<sub>2</sub>, CN, CO<sup>+</sup>. Некоторые различия в составе рассмотренных нами комет (C/2001 Q4, C/1999 S4 и 67P/Чурюмова-Герасименко), вероятнее всего, обусловлены, во-первых, физическими условиями их формирования, а также – особенностями их внутреннего состава и порядком сублимации летучих соединений при сближении с Солнцем.



# ВЛИЯНИЕ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ НА МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ГАЛАКТИК В МОДЕЛИ С УЧЕТОМ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ

**В.В. Пушкарев, Е.А. Михайлов**

*Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
pushkarev.vv14@physics.msu.ru*

Генерация магнитного поля галактик описывается моделью галактического динамо [Arshakian et al 2009]. Однако в случае активных галактик - таких, в которых происходят процессы интенсивного звездообразования, взрывы сверхновых - необходимо учитывать различия в характеристиках межзвездной среды в разных областях диска галактики. Распределение таких областей можно считать случайным. Для изучения эволюции магнитного поля мы использовали модель галактического динамо со случайными коэффициентами. В нашей модели коэффициенты, связанные с диссипацией, могут принимать одно из двух значений, которые соответствуют различным компонентам межзвездной среды (слабо подогретому HI и горячему HII). Вероятность принять одно из двух значений коэффициентом соответствует поверхностной плотности звездообразования в данной области галактического диска. Полагается, что в пределах малой области круглой формы (близкой по смыслу к зоне Стремгрена) значения параметров являются постоянными.

Мы использовали планарное приближение [Moss 1995], основанное на том факте, что галактический диск достаточно тонкий, поэтому можно заменить некоторые из вторых частных производных на дроби. В отличие от предыдущих работ, здесь учитывалась зависимость поля от обеих пространственных координат.

Мы получили оценки для скоростей экспоненциального роста при различных величинах поверхностной плотности звездообразования. Показано, что процесс генерации галактического магнитного поля является пороговым процессом. Однако даже небольшие флуктуации управляющих параметров модели могут приводить к большим изменениям в эволюции магнитного поля. Можно сделать вывод о том, что интенсивное звездообразование в отдельных областях галактического диска может вытеснять крупномасштабное поле в соседние области.

Кроме того, стоит учесть, что в отличие от модели, описываемой обыкновенными дифференциальными уравнениями [Михайлов и Пушкарев 2016], как характерные, так и средние скорости роста магнитного поля заметно меняются. Кроме того, они начинают зависеть от координат.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Arshakian T. G., Beck R., Krause M., and Sokoloff D. A&A, 494, 21 (2009).
2. Moss D. Mon. Not. R. Astron. Soc., 275, 191 (1995).
3. Пушкарев В.В., Михайлов Е.А. Вычислительные методы и программирование, 17, 447 (2016).

# СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЯДА АСЗ И АСТЕРОИДОВ ГЛАВНОГО ПОЯСА

**А.А. Резаева, М.П. Щербина**

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия  
aa.rezaeva@physics.msu.ru, morskayaa906@yandex.ru*

Астероиды – одни из древнейших объектов Солнечной системы, чей состав был минимально изменен со времен её образования. Однако только для относительно небольшого числа был определен спектральный класс. Вопрос о составе и распределении астероидов разных классов остаётся открытым, а ведь на основании этих данных возможно подтвердить или опровергнуть ту или иную космологическую модель (1).

Астероиды, как тела, не имеющие атмосферы, традиционно изучаются спектрофотометрическим методом в видимом и ближнем ИК диапазонах. Мы использовали наблюдательные данные ряда астероидов, сближающихся с Землей, полученных в 2015-2017 гг. М.П. Щербиной и С.И. Барабановым, а также другими сотрудниками ИНАСАН на Терскольской обсерватории. Измерение их спектров производилось принятым в астрофизике дифференциальным способом с использованием звезд - солнечных аналогов в качестве стандартных (2).

Для обработки использовался пакет DECH (3). Проводились частотная фильтрация, сглаживание спектров и их полиномиальная аппроксимация с помощью программного пакета ORIGIN. По нормированному спектру отражения делался вывод о принадлежности астероида к тому или иному спектральному классу, а значит, определялся состав, характерный для класса.

После обработки осуществлялась качественная интерпретация полученных спектров отражения: определялся таксономический класс астероида, а по характерным спектральным особенностям устанавливалось наличие тех или иных минералов.

Следующий этап работы - количественная интерпретация. С помощью разработанной программы на базе пакета MATLAB, использующей лабораторную базу спектров минералов RELAB (4) и базу университета Виннипег (5), была выполнена аппроксимация спектров отражения рассматриваемых тел с помощью комбинаций спектров минералов. По сравнению с предыдущей работой, алгоритм программы был улучшен для достижения более точных результатов.

Кроме того, были также получены приближения спектров отражения изучаемого ряда астероидов спектрами отражения метеоритов (5). С помощью этих результатов была проведена независимая оценка правдоподобности приближения минералами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сафронов В. С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет // М.: Наука, 1969, с. 179-189
2. Бусарев В.В. Спектрофотометрия безатмосферных тел Солнечной системы // Астрон. вестн., 1999, 33, № 2, с. 140-150
3. Галазутдинов Г. А. Обработка астрономических спектров в ОС Windows с помощью программ DECH. ч. 2 // Обработка спектров (описание программы Dech20T и руководство пользователя), 1991.
4. NASA REFLECTANCE EXPERIMENT LABORATORY // Режим доступа: [http://www.planetary.brown.edu/relabdocs/relab\\_disclaimer.htm](http://www.planetary.brown.edu/relabdocs/relab_disclaimer.htm) (дата обращения 04.12.2017)
5. PLANETARY SPECTROPHOTOMETER FACILITY // Режим доступа: <http://psf.uwinnipeg.ca/index.html> (дата обращения 04.12.2017)

# ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАНЗИЕНТНЫХ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ПЕРИОД РОСТА 24 СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

**Д.Г. Родькин<sup>1</sup>, В.А. Слемзин<sup>1</sup>, А.Н. Жуков<sup>2,3</sup>, Ф.Ф. Горяев<sup>1</sup>, P.Pagano<sup>4</sup>,  
Ю.С. Шугай<sup>2</sup>, И.С. Веселовский<sup>2,5</sup>**

<sup>1</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия  
rodkindg@gmail.com

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

<sup>3</sup>Solar-Terrestrial Centre of Excellence – SIDC, Royal Observatory of Belgium, Brussels, Belgium

<sup>4</sup>School of Mathematics and Statistics, University of St Andrews, St Andrews, Scotland, UK

<sup>5</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

**Научный руководитель: Слемзин В.А., д. ф.-м. н.**

*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия*

Целью работы являлось изучение формирования транзистентных потоков солнечного ветра (СВ) и определение связи их параметров с характеристиками источников на Солнце, а также исследование взаимодействия различных потоков СВ и его влияния на космическую погоду. Использовались данные с космических аппаратов SDO, SOHO, STEREO-A,-B, ACE и WIND.

В работе была рассмотрена статистика различных видов транзистентных потоков СВ в период роста 24го солнечного цикла (2010 – 2011 гг.). Было установлено, что из 23 межпланетных корональных выбросов массы (МВКМ) в 11 случаях транзистентные потоки сопоставляются с несколькими корональными источниками, при этом в результате взаимодействия потоков возникают комплексные структуры в СВ. Остальные 12 событий связаны с одним источником на Солнце. Был подробно рассмотрен случай одиночного явления, связанный с корональным выбросом массы (КВМ) 2 августа 2011, и изучено его формирование в короне. Было проведено МГД моделирование с последующей диагностикой плазмы (DEM анализ). Рассчитан ионный состав КВМ с учетом процессов нагрева, охлаждения, расширения, ионизации и рекомбинации в движущейся плазме в короне до области «замораживания». Показано, что по данным диагностики КВМ в короне Солнца можно рассчитать ионный состав плазмы МКВМ с учетом дополнительного нагрева плазмы в нижней короне. Исследовались характерные признаки комплексных структур в СВ и их геоэффективность. Было выделено три случая взаимодействия: (1) комплексные структуры, образующиеся из-за слабого и (2) сильного взаимодействия между КВМ; а также (3) из-за взаимодействия КВМ с высокоскоростными потоками СВ (ВСП СВ) из корональных дыр. С помощью анализа параметров солнечного ветра, измеряемых в околоземном пространстве, было получено, что в случае слабого КВМ-КВМ взаимодействия профили кинетических параметров плазмы и ионного состава ( $C^{6+}/C^{5+}$ ,  $O^{7+}/O^{6+}$ , Fe/O и средний заряд ионов железа) могут содержать несколько пиков, связанных с последовательным прохождением КВМ. В случае сильного КВМ-КВМ взаимодействия профиль ионного состава может иметь сложный вид, в зависимости от множества факторов (например, параметров взаимодействующих КВМ, взаимной ориентации магнитных полей). В случае КВМ-ВСП взаимодействия измеренный профиль ионного состава зависит от последовательности прихода потоков и параметров их источников на Солнце. 11 событий, образованных взаимодействием потоков СВ, вызвали 7 магнитных бурь (со значениями Dst < -30нТл). При отсутствии взаимодействия (12 событий) наблюдалось 4 магнитных бури. Таким образом комплексные структуры в СВ имеют более высокую вероятность вызвать магнитную бурю по сравнению с одиночными МКВМ.

Результаты представленных исследований в дальнейшем предполагается использовать для улучшения модели прогноза космической погоды, разработанной в НИИЯФ.

# РАСЧЕТ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ ДЛЯ БОЛЬШОГО СОЛНЕЧНОГО ВАКУУМНОГО ТЕЛЕСКОПА

**И.В. Русских<sup>1</sup>, А. Ю. Шиховцев<sup>1</sup>, С.А. Чупраков<sup>1</sup>, А. В. Киселев<sup>1</sup>,  
В.Е. Томин<sup>1</sup>, В.И. Скоморовский<sup>1</sup>, П.Г. Коваadlo<sup>1</sup>, В.П. Лукин<sup>2</sup>,  
Д.Ю. Колобов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ИСЗФ СО РАН, Россия

vanekrus@iszf.irk.ru

<sup>2</sup>ИОА СО РАН, Россия

**Научный руководитель: Колобов Д. Ю., к. ф.-м. н.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук,  
Россия*

Исследование тонкой структуры солнечной атмосферы является одной из важнейших экспериментальных задач современной физики Солнца. Разрешающая способность солнечных телескопов наземного базирования — основных инструментов, предназначенных для получения первичной информации о структуре солнечных образований - ограничена атмосферной турбулентностью. В идеальном случае для достижения дифракционной формы функции размытия точки волновой фронт на входной апертуре телескопа должен формироваться лучами с равной оптической длиной пути. В атмосфере Земли за счет турбулентного перемешивания воздуха с разной температурой и, соответственно, разными плотностью и показателем преломления возникает оптическая разность хода и, как следствие, формируются искажения волнового фронта. При характерных атмосферных условиях можно ожидать, что разрешающая способность телескопа составит 1.5–2», в то же время размер тонкоструктурных образований в солнечной атмосфере составляет ~0.1». Для наблюдений солнечных образований с таким разрешением в режиме реального времени исправление волнового фронта осуществляется с помощью систем адаптивной оптики разных конструктивных решений, в которых для измерения оптических искажений используются датчики типа Шака-Гартмана, а для их коррекции – деформируемое и tip-tilt зеркала, сопряженные с плоскостью апертуры телескопа. В докладе обсуждаются результаты исследований адаптивной оптики и атмосферы, выполненных для солнечных телескопов ИСЗФ СО РАН. В частности расчет многозеркальной системы адаптивной оптики для Большого солнечного вакуумного телескопа основан на решении ряда научных задач: определение пространственных масштабов турбулентной атмосферы Земли и масштабов оптической системы в сопряженных плоскостях. На основе моделирования атмосфера-телескоп определена схема адаптивной оптической системы, согласующаяся со схемой телескопа, датчика и корректоров волнового фронта.

# РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ В ГЕОПОРТАЛЕ СПУТНИКОВОГО РАДИОТЕПЛОВИДЕНИЯ

**Е.В. Савченко, С.М. Маклаков, В.С. Васильев**  
*ФИРЭ им В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Россия*  
[eugeniy.fire@yandex.ru](mailto:eugeniy.fire@yandex.ru)

В ФИРЭ РАН активно развиваются технологии объединения и совместного анализа спутниковой информации на принципах виртуальной интеграции пространственно распределенных архивов и баз данных ДЗЗ. Программно-аппаратная реализация осуществляется путем создания и развертывания на серверах ФИРЭ РАН специализированных геопорталов. В настоящем докладе рассмотрен геопортал спутникового радиотепловидения <http://fire.fryazino.net/tpw/>, который был создан сотрудниками лаборатории № 301 ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. Он нацелен на обеспечение коллективного использования продуктов радиотеплового спутникового мониторинга Земли в контексте анализа глобальных климатических изменений, региональной погоды и климата, синоптических и мезомасштабных атмосферных процессов, в том числе атмосферных катастроф. Ключевой особенностью геопортала является представление данных в динамике, расчет которой производится по алгоритмам спутникового радиотепловидения. Одним из важных инструментов удаленной работы с данными, включенных в геопортал, является Интерактивный Калькулятор для Атмосферных Расчетов (ИКАР), <http://fire.fryazino.net/tpw/icarsa.aspx>. Он позволяет производить различные вычисления на базе виртуально интегрированных в геопортал данных и вводимых пользователем расчетных формул. Результаты расчетов визуализируются в виде калиброванных изображений и могут быть сохранены в файл на компьютере пользователя.

Авторами представленного доклада выполнен анализ ряда зарубежных и отечественных источников спутниковых данных на предмет возможности их виртуальной интеграции в геопортал спутникового радиотепловидения и сервис ИКАР. С этой целью выработаны критерии отбора рядов данных (полнота пространственного покрытия, пространственное разрешение, периодичность обзора, временной интервал наблюдений, типы продуктов, организация сетевого обмена данными), на основе которых произведено условное ранжирование открытых сетевых источников. Каждый из порталов оценивался по степени доступности данных для возможности дальнейшего создания автоматизированных загрузчиков данных для портала (виртуальная интеграция сетевых ресурсов). Было произведено тщательное исследование контента и дано максимально подробное описание содержащихся в нём данных, параметры, которые можно получить, пространственные и временные характеристики приборов и информация об орбитах и высоте пролёта спутников, на которых они находятся. Особое внимание уделено рассмотрению проблем виртуальной интеграции данных отечественных информационных ресурсов. Собраны рабочие ссылки на скачивание, проводится работа по динамической корректировке загрузчиков данных в связи с постоянной сменой форматов и способов доступа к данным. Сделан анализ возможности получения конкретных продуктов из данных, содержащихся на каждом из сайтов. В настоящее время результаты проведенного анализа используются для расширения номенклатуры продуктов геопортала спутникового радиотепловидения и сетевого сервиса ИКАР.

Также важной частью работы является анализ возможностей и имплементация новых инструментов онлайн-визуализации данных. В частности, авторами проводится отработка методик интеграции растрового и векторного представления данных. В качестве иллюстрирующего примера рассмотрен вариант визуализации положений и интенсивности тропических циклонов на фоне анимированного поля интегрального влагосодержания.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-07-04422 А: "Разработка принципов и программных средств экспресс-анализа быстроразвивающихся процессов в системе атмосфера - подстилающая поверхность Земли на основе виртуальной интеграции распределённых источников данных спутникового мониторинга." Руководитель Ермаков Д.М.

# АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ВЕТРА ПО РАДИОМЕТРИЧЕСКИМ ИЗМЕРЕНИЯМ ИЗ КОСМОСА

Д.С. Сазонов, В.В. Стерлядкин, А.В. Кузьмин  
ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук,  
Москва, Россия  
sazonov\_33m7@mail.ru

Возможность определения направления ветра по радиометрическим измерениям основывается на эффекте азимутальной анизотропии излучательной способности взволнованной морской поверхности. Установлено, что наибольшее влияние анизотропия излучения поверхности оказывает на вертикальную и горизонтальную поляризацию, а также на третий параметр Стокса. При этом величина анизотропии зависит как от частоты излучения, так и от модуля скорости ветра. При восстановлении направления ветра мы полагаем, что модуль скорости ветра – известен, следовательно, известна и зависимость третьего параметра Стокса от относительного направления ветра, которое отсчитывается по отношению к азимуту зондирования.

Зависимость третьего параметра Стокса от относительного направления ветра  $S_3(\varphi)$  такова, что при любом измеренном значении параметра  $S_3$  относительный азимут ветра  $\varphi$  имеет неоднозначное значение. Для каждого  $S_3$  будут либо два, либо четыре возможных значения угла  $\varphi$ . Какое из значений соответствует истинному направлению ветра по одному измерению определить невозможно. Такая возможность появляется, если один и тот же элемент разрешения на поверхности измеряется под различными ракурсами. В КЭ «Конвергенция» планируется проводить измерения, как в передней части конуса измерений, так и в его задней части. Такая геометрия измерений позволяет при одном проходе спутника получать два измеренных значения третьего параметра Стокса  $S_{3_1}$  и  $S_{3_2}$  под различными ракурсами зондирования.

В докладе приводятся результаты моделирования данного алгоритма. По тестовому полю скорости и направления ветра решается прямая задача. В расчетные значения радиояркостных температур вносятся ошибки, и производится восстановление направления ветра. Повышение надежности восстановления ветра обеспечивается за счет использования комбинации радиометрических каналов с разными частотами.

Результаты моделирование данного алгоритма подтверждают его высокую эффективность. Так же в докладе приводятся результаты восстановления направления ветра по данным прибора WindSat.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-05-08401.

# ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**В.В. Сазонов<sup>1</sup>, М.Р. Ахмедов<sup>2</sup>, М.В. Егоров<sup>1</sup>, Е.Ю. Макарова<sup>1</sup>, О.В. Морозов<sup>1</sup>, Т.Е. Романенко<sup>1</sup>, И.А. Самыловский<sup>1</sup>, А.С. Сапелкин<sup>1</sup>, А.Н. Семенов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия*  
*helen.makarova@cs.msu.ru*

<sup>2</sup> *ПАО РКК «Энергия» имени С. П. Королёва, Московская обл., Королев, Россия*

Одной из важнейших задач, стоящих перед конструкторами космической техники, является осуществление тепловых расчетов для определения характеристик нагрева составных частей КА при различных режимах функционирования. В связи с этим востребованными являются программные комплексы, позволяющие уже на этапе проектирования с использованием чертежей КА произвести расчет тепловых характеристик на стандартном персональном компьютере.

В рамках настоящей работы был создан программный комплекс, позволяющий на основе трехмерной модели космического аппарата спрогнозировать изменение его тепловых характеристик при выполнении космического полета.

Входными данными программы являются трехмерная иерархическая модель КА в одном из стандартных форматов, набор информации о характеристиках материалов составных частей модели, а также набор элементов орбиты космического аппарата в виде файла TLE (two-line element set, двухстрочный набор элементов).

После загрузки иерархической модели КА пользователь имеет возможность с помощью стандартных элементов графического интерфейса задать необходимые для расчета параметры материалов деталей КА, такие как теплопроводность, теплоемкость, отражательная и излучательная способность поверхности. Затем возможно произвести автоматический поиск пар деталей, взаимодействующих между собой теплопроводностью или излучением и при необходимости откорректировать параметры взаимодействия вручную.

С учетом заданных и предварительно рассчитанных параметров материалов и взаимодействия деталей, а также элементов орбиты производится вычисление количества тепла, получаемого поверхностью различных деталей КА в каждой точке орбиты, и расчет температуры и мощности излучаемого тепла для каждой из деталей КА в каждой точке орбиты. Рассчитанные данные могут быть визуализированы с помощью средств трехмерного моделирования, предоставляя возможность просмотра интерактивной трехмерной модели аппарата с наложенным полем температур.

Выходными данными программы являются тепловые характеристики КА, сохраняемые в виде текстовых файлов, файлов, совместимых со стандартными средствами Microsoft Excel. Программный комплекс предоставляет пользователю возможности по графическому представлению тепловых характеристик с помощью встроенных средств визуализации данных.

Разработанные решения могут быть использованы при проектировании облика новых космических аппаратов, как пилотируемых, так и автоматических, предназначенных как для функционирования на околоземной орбите и в рамках системы Земля-Луна, так и в дальнем космосе.

# АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

**В.В. Сазонов<sup>1</sup>, Е.А. Голованов<sup>2</sup>, М.В. Егоров<sup>1</sup>, О.В. Морозов<sup>1</sup>,  
И.Д. Мухамеджанов<sup>1</sup>, Х.У. Сайгираев<sup>2</sup>, И.А. Самыловский<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Московский государственный университет имени  
М.В. Ломоносова», Москва, Россия  
*ivan.samylovskiy@cs.msu.ru*

<sup>2</sup>ПАО РКК «Энергия» имени С. П. Королёва, Московская обл., Королев, Россия

В связи с развитием Российского сегмента МКС и вводом в строй новых модулей важное значение приобретает прогнозирование работы бортовых систем в различных режимах функционирования с учетом поступления электроэнергии с солнечных батарей на различных этапах полета. При этом следует учитывать, что в ходе полета КА отдельные участки солнечных батарей могут затеняться элементами конструкции, что снижает выработку электричества. В частности, при функционировании МКС приходится планировать работу бортовых систем российского сегмента с учетом снижения выработки электроэнергии солнечными батареями в результате затенения от солнечных батарей американского сегмента.

В рамках настоящей работы был создан аппаратно-программный комплекс, позволяющий на основе трехмерной модели МКС и информации о структуре солнечных батарей спрогнозировать выработку электроэнергии, на основе информации о потреблении электроэнергии бортовыми системами спрогнозировать расход электроэнергии и определить «проблемные» с точки зрения энергообеспечения участки разрабатываемого плана функционирования бортовых систем.

Комплекс состоит из трех АРМ, объединенных в локальную вычислительную сеть и использующих общую базу данных для хранения результатов расчетов. АРМ прогнозирования выработки электроэнергии на основе входных данных составляет прогноз выработки электроэнергии. АРМ прогнозирования потребления электроэнергии позволяет составить список устройств-потребителей и спрогнозировать потребление электроэнергии в рамках составленного плана. АРМ моделирования системы энергоснабжения на основе полученных профилей вырабатываемого и потребляемого электричества производит оценку плана.

Разработанные решения могут быть использованы при проектировании облика новых космических аппаратов, как пилотируемых, так и автоматических, предназначенных как для функционирования на околоземной орбите и в рамках системы Земля-Луна, так и в дальнем космосе.



# ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОВРЕЖДЕННЫХ ПОЖАРАМИ ЛЕСОВ

**И.А. Сайгин**

*МГУ им. Ломоносова, ФКИ, Москва, Россия  
saiginilya95@mail.ru*

**Научный руководитель: Стыценко Ф.В., к.т.н.**

*ИКИ РАН, отдел технологий спутникового мониторинга*

Леса России подвергаются воздействию пожаров на огромной площади, измеряемой миллионами гектар ежегодно. Вызываемые пожарами последствия для древостоев могут варьироваться от незначительных краткосрочных повреждений до полной их гибели в зависимости от типа пожара (подземный, низовой, верховой), его интенсивности и продолжительности и других факторов, характеризующих процессы горения и устойчивость насаждений к пирогенному воздействию. Как показано в некоторых исследованиях, отражательные характеристики поврежденных пожарами лесов во многом зависят от степени повреждения и могут использоваться для оценки последствий воздействия огня на лесные экосистемы. Целью работы является исследование отражательных свойств поврежденных пожарами лесов и её динамики в течении нескольких лет после воздействия пожара на основе использования данных современных спутниковых систем ДЗЗ. В исследовании используются результаты подробных наземных обследований пройденных огнем лесов, выполненные специалистами Российского центра защиты леса. Во время проведения обследований определялся тип леса, породный состав, средняя высота, средний возраст, а также выполнялась оценка состояния древостоев. Обследования проводились в Амурской, Иркутской, Томской областях, в республике Коми и в Красноярском крае в 2015 году. Для получения отражательных характеристик поверхности используются спутниковые изображения, полученные приборами Landsat-OLI/TIRS и Landsat-ETM. В исследовании использовались данные об отражательной способности в красной, ближней и средней ИК областях спектра, а также некоторые вегетационные индексы.

Результаты исследования могут использоваться для оценки достоверности и уточнения параметров существующих методов оценки последствий воздействия пожаров на основе спутниковых данных, а также для анализа возможности применения спутниковых данных для исследования состояния лесов через несколько лет после воздействия пожара.

# АЛГОРИТМЫ ФИЛЬТРАЦИИ СПЕКЛ-ШУМА

**Е.В. Самофал, В.В. Марченков, С.А. Барталёв**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук,*

*Москва, Россия*

*samofal@d902.iki.rssi.ru*

Данные радаров с синтезированной апертурой (РСА) позволяют получать информацию независимо от наличия облачного покрова и условий освещённости объекта зондирования. Однако, наряду с достоинствами, этот вид данных имеет существенный недостаток - спекл-шум.

В работе рассмотрены результаты работы алгоритмов фильтрации спекл-шума и их влияние на точность распознавания сельскохозяйственных культур.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ФРОНТОВ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ ПРИБОРОМ БМСВ

**О.В. Сапунова, Н.Л. Бородкова, Г.Н. Застенкер**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия  
sapunova\_olga@mail.ru*

Исследовалась тонкая структура фронтов Межпланетных Ударных Волн (МУВ), зарегистрированных установленным на спутнике СПЕКТР-Р плазменным спектрометром БМСВ, позволяющем получать параметры плазмы солнечного ветра с высоким временным разрешением – 0.031 с. Это дало возможность подробно исследовать фронты МУВ. Данные прибора были дополнены со спутников WIND, THEMIS-B/-C, CLUSTER C1-4.

Показано, что длительность рампа фронта МУВ лежит в пределах от 0.07 до 0.9 с (от 35 до 450 км). Примерно в трети событий наблюдались колебания параметров солнечного ветра (как опережающие фронт, так и отстающие) - как по параметрам плазмы, так и по значениям магнитного поля. Их длина составила от 70 до 400 км. Сравнение длин колебаний, определенных по плазме и магнитному полю показало хорошее соответствие – отличие составило не более 35%.

# АНАЛИТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ СДВИГОВОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

**С.И. Сафонов, А.С. Петросян**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия  
safons25@gmail.com*

**Научный руководитель: Петросян А.С., д.ф.-м.н., профессор**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

Работа посвящена исследованию энергетических спектров турбулентного течения космической плазмы в приближении магнитной гидродинамики с помощью метода быстрых искажений. Теория быстрых искажений турбулентности является методом линейного анализа для вычисления турбулентных течений, изменяющихся под действием крупномасштабных градиентов скорости потока, магнитного поля, граничных поверхностей, массовых сил. Основное предположение этой теории состоит в том, что поле турбулентности реагирует на некоторый внешний эффект настолько быстро, что инерция и силы вязкости, действующие на течение, производят только незначительные изменения в распределении скоростей. Таким образом, предполагается, что реакция на этот внешний эффект происходит в интервале времени малом по сравнению со временем вырождения турбулентности. Это делает задачу линейной и позволяет записать замкнутые уравнения для вторых моментов турбулентного течения. В работе теория быстрых искажений впервые разработана для несжимаемых неоднородных магнитогидродинамических течений космической и астрофизической плазмы и сформулированы условия ее применимости. Получены соотношения, позволяющие по известным начальным и граничным условиям рассчитать значения флуктуаций поля скорости и напряженности магнитного поля в любой точке пространства для любого момента времени.

Мы изучаем турбулентное течение плазмы в приближении магнитной гидродинамики при наличии внешнего магнитного поля и вращения. Для исследования течений такой жидкости применяется статистический подход: магнитное поле и поле скорости представляются в виде суммы средней и флуктуирующей компонент. Затем уравнения усредняются, приводя к системе уравнений Рейнольдса. Получающаяся система уравнений не является замкнутой из-за наличия тензора напряжений и подобных ему слагаемых (вторые моменты). Для замыкания системы уравнений применяется метод быстрых искажений.

Мы рассматриваем возмущения магнитного поля и поля скоростей, характерное время действия которых много меньше характерного времени взаимодействия флуктуаций друг с другом. На таких временах нелинейными членами в полученных уравнениях для флуктуаций скорости и магнитного поля можно пренебречь, оставив только слагаемые, описывающие воздействие среднего поля на флуктуации. Показано, что даже при сильной нелинейности, многие свойства турбулентности можно качественно исследовать, используя такую линейную теорию.

К полученной системе линейных уравнений на флуктуации применяется трехмерное преобразование Фурье, выводятся уравнения, описывающие эволюцию волнового вектора и спектров флуктуаций скорости и магнитного поля. Перейдя в систему отсчета, связанную со средней скоростью, уравнение эволюции волнового вектора можно решить для заданных конфигураций среднего течения и магнитного поля. Подставляя решение в уравнения на спектры флуктуаций, получаем замкнутую систему уравнений. Проводится вывод и анализ энергетических спектров флуктуаций скорости и магнитного поля. Показана динамика изменения формы спектра во времени.

# **ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ОРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

**Д. В. Сербинов**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия  
Serbinov@iki.rssi.ru*

**Научный руководитель: Семена Н.П., к.т.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

На примере Международной космической станции (МКС) анализируются внешние факторы, которые могут влиять на работу астрофизической аппаратуры, размещаемой на орбитальных станциях. Из данного анализа делается вывод о преимуществах и недостатках орбитальных космических станций как площадок для проведения астрофизических экспериментов.

# ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МАЛОГО МЕТЕОРНОГО ПОТОКА $\delta$ -КАНРИДЫ С АСТЕРОИДАМИ

**М.С. Сизов, М.Г. Соколова**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия  
maria\_sergienko@mail.ru*

**Научный руководитель: Соколова М.Г., к.ф.-м.н.**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия*

В настоящее время наблюдается около 20 метеорных потоков с часовым числом от 20 до 140 метеоров в час. Эти потоки называют главными, их структура хорошо изучена, для большинства установлена генетическая связь с кометой. Помимо главных потоков наблюдается порядка сотни малых метеорных потоков, численность которых в среднем составляет около 10 метеоров в час. Большая часть малых потоков является потоками-сиротами, т.е. потоками для которых не найдена родительская комета.

Низкая пространственная плотность малых потоков может быть обусловлена рассеиванием их орбит под действием гравитационных и негравитационных сил вследствие большого возраста метеороидного роя. В этом случае можно предположить, что родительская комета уже перешла в неактивную угасшую стадию или распалась на отдельные фрагменты. Особенно сильные гравитационные возмущения орбит испытывают малые тела, относящиеся к группе Юпитера. Поэтому в поясе астероидов не исключают присутствие угасших ядер комет или продуктов их разрушения. Опубликовано большое количество работ по данной тематике, но даже при схожих методах исследования результаты отбора генетически связанных с метеорным потоком астероидов не всегда совпадают. В данной работе проводится поиск генетических связей с астероидами малого потока  $\delta$ -Канкриды с применением модифицированной методики критериев установления близости орбит пары метеороид-астероид на основе каталогов орбит метеороидов роя и анализа его структуры, полученных по телевизионным и визуальным и наблюдениям.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЗМА В РЕФЛЕКТОРНОМ ТРЕНАЖЁРЕ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ КОСМОНАВТОВ

**А.А. Скворцова**

ФГБОУ ВО НИУ «Московский авиационный институт» (НИУ МАИ), Москва, Россия  
saa2509@mail.ru

**Научный руководитель: Лебедев В.В., д.т.н.**

ФГБОУ ВО НИУ «Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)», Москва, Россия

Целью работы является математическое и численное исследование траектории движения привода шагающей машины П.Л.Чебышева на предмет плавности движения и выявления инерционных ускорений. Актуальность работы обоснована повышенным интересом к шагающим машинам как в тяжёлом машиностроении, так и в области медицины [1]. Медицина заинтересовалась шагающими механизмами для создания новых тренажёров, позволяющих ускорить лечение и реабилитацию пациентов с нарушениями движений опорно-двигательного аппарата, а также для правильных нагрузок космонавтов в невесомости [2,3,4]. Была предложена новая авторская схема механизма тренажёра, по которой подана заявка на предполагаемое изобретение. Главным, рабочим участком является нижняя часть траектории, очень близкая к прямолинейному отрезку. Второй участок – это дугообразная линия обратного движения шагающей опоры, переноса её вперёд относительно корпуса машины. Третий участок связан с двумя переходными процессами от первого участка ко второму. Для исследования инерционных нагрузок предложена математическая модель, основанная на геометрическом представлении движения рычагов в механизме. Математическая модель была дополнена лабораторным стендом-макетом шагающего тренажёра. При длине шага 20 см отклонения точек от прямой линии не превысили 1мм. Это означает, что ошибка реализации прямолинейного участка движения опоры на практике не превышает 1/200, то есть 0,5%. Вывод. При создании рефлексорного шагающего тренажёра даже с жёсткими медицинскими требованиями нет смысла реализовывать сложные семизвенные рычажные схемы для получения точной прямой линии движения опоры. Простой и надёжный четырёхзвенный механизм обладает вполне приемлемой точностью для реализации природной траектории стопы человека в медицинской технике.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Скворцова А.А. Шарнирный механизм для шагающего рефлексорного тренажёра / XXVII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых учёных и студентов (МИКМУС-2015): материалы конференции (Москва, 2-4 декабря 2015 г.). - Секция 5 «Биомеханика», Институт машиноведения (ИМаш РАН) - М.: Изд-во ИМаш, 2015. - 137 с. - УДК 62. - С. 60.
2. Скворцова А.А. Рефлексорный реабилитационный шагающий тренажёр / I Международная школа конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Биомедицина, материалы и технологии XXI века», 25-28 ноября 2015. – Казанский (Приволжский) федеральный университет. – Казань: Изд. К(П)ФУ, 2015. - [http://media.wix.com/ugd/14a693\\_45f91b4f1bb94b6c8f2ad843beeb8ded.pdf](http://media.wix.com/ugd/14a693_45f91b4f1bb94b6c8f2ad843beeb8ded.pdf)
3. Скворцова А.А. Шарнирный механизм для шагающего рефлексорного тренажёра / XXVII Международная инновационно ориентированная конференция молодых учёных и студентов МИКМУС-2015. – Труды конференции. – ИМаш РАН, 2-4.12.2015. - С.286-289. – Электронный ресурс: [http://mikmus.ru/opendocs/Archive\\_materials/iicyss\\_2015\\_f\\_p.pdf](http://mikmus.ru/opendocs/Archive_materials/iicyss_2015_f_p.pdf)
4. Скворцова А.А. Новый шагающий тренажёр / II Международная школа конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Биомедицина, материалы и технологии XXI века», 20-23 сентября 2016. – Казанский (Приволжский) федеральный университет. – Казань: Изд. К(П)ФУ, 2016. – Программа: Секция 9 «Биоинженерия», 22.09.2016, доклад №4. – Эл. ресурс: [http://media.wix.com/ugd/14a693\\_b2c3ef2616904b0e83da5ff924c337a3.pdf](http://media.wix.com/ugd/14a693_b2c3ef2616904b0e83da5ff924c337a3.pdf)

# МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

**М.Н. Скобленков**

*Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс»  
maxim\_skoblenkov@mail.ru*

Актуальными проблемными вопросами в ракетно-космической промышленности в настоящее время являются исследование качества и эффективности целевого применения сложных технических систем (СТС), таких как космические системы навигации, наблюдения, космические комплексы (аппараты) научно-социально-экономического назначения, ракеты-носители.

Предлагаемый метод исследования качества и эффективности СТС учитывает специфику ее создания и целевого применения, но также может быть адаптирована для других отраслей.

Качество СТС рассматривается не просто как соответствие требованиям. Учитываются любые несоответствия (отказы, неисправности) и их влияние на выполнение СТС целевых задач в соответствии с назначением.

Под эффективностью СТС понимается свойство получать результат ее функционирования с учетом условий применения СТС и с учетом способов использования активных средств управления этой СТС.

Создана математическая модель для исследования качества и эффективности СТС на стадиях создания СТС и ее эксплуатации.

Разработана методика анализа и оценки качества и эффективности СТС.

Преимуществом данной работы является то, что в ней обобщены результаты научных исследований ведущих специалистов по исследованию качества и эффективности ракетно-космической техники.



# ДЖЕТ В ДЖЕТЕ В ГАЛАКТИКЕ М87

**Д.Н. Собьянин**

*Отдел теоретической физики им. И.Е. Тамма, Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия*  
*sobyenin@lpi.ru*

Новейшие наблюдения знаменитого джета в радиогалактике М87 на частоте 15 ГГц с использованием радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой демонстрируют существование устойчивой трехгорбой структуры поперечного профиля с ненаблюдавшимся ранее сверхузким центральным пиком. Эта радиоструктура может отражать действительную структуру джета, который на самом деле состоит из двух вложенных соосных джетов. Разработана релятивистская магнитогидродинамическая модель, в которой внутренний джет помещен в полый внешний джет, и вычислены соответствующие электромагнитные поля, давления и иные физические величины. Джет как целое подключен к центральной машине, которая генерирует напряжение между внешним и внутренним джетами, отвечающее за одинаковые наблюдаемые законы их расширения. Структура «джет в джете» может свидетельствовать об одновременной работе двух различных механизмов запуска джета, один из которых связан с центральной черной дырой, а другой — с аккреционным диском. Полученное магнитное поле 80 Гс на основании достаточно для обеспечения наблюдаемой светимости джета.

## ЛИТЕРАТУРА

1. D.N. Sob'yanin, Jet in jet in M87, Mon. Not. R. Astron. Soc. 471, 4121 (2017).

# ПЛАНЕТА ОКОЛО ПУЛЬСАРА B0525+21

**Е.Д. Старовойт**

*Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, Пушкино,  
Россия, starovoit.prao@gmail.com*

**Научный руководитель: Родин А.Е., к.ф.-м.н.**

*Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, г. Пушкино,  
Россия*

Среди всего разнообразия подтверждённых экзопланет, которых, благодаря активно развивающимся программам по поиску, на данный момент насчитывается несколько тысяч, одним из самых редких типов являются пульсарные планеты. На данный момент известно шесть пульсарных планет, обращающихся вокруг четыре пульсаров: PSR 1257+12, PSR B1620-26, PSR J1719-1438 и PSR B0329+54. Однако существует ещё один пульсар, который может оказаться потенциальным обладателем планеты – пульсар B0525+21.

Начиная с 1969 г., пульсар B0525+21 наблюдался в Лаборатории реактивного движения (США) на радиотелескопах DSS 13 (диаметр 26 м) и DSS 14 (диаметр 64 м) на рабочей частоте 2388 МГц, затем в Джодрелл-Бэнк (Англия) на радиотелескопе им. Ловелла (диаметр 76 м) на частотах 408, 610, 910, 1410, 1630 МГц. В остаточных отклонениях пульсара B0525+21, полученных по всему объёму данных, в общей сложности охватывающих период в 36 лет, наблюдается гармоническая модуляция, соответствующая движению планеты по высокоэксцентрической орбите. Для того, чтобы описать наблюдаемое поведение остаточных отклонений и вписать в них гармоническую кривую, было необходимо определить параметры эллиптического движения, используя их разложение по эксцентриситету  $e$ , выразив через эксцентрическую аномалию, зависящую от средней аномалии  $E(M)$ . Для этого было использовано разложение в ряд Фурье, где эксцентрическая аномалия выражалась через функции Бесселя первого рода.

В результате была определена модель движения планеты массой  $m = 0.5M_{\oplus}$ , обращающейся по орбите со значением эксцентриситета  $e = 0.96$ , величиной большой полуоси относительной орбиты  $a = 8.4$  а.е., с периодом обращения  $P = 20.2$  лет. Кроме того, была измерена угловая скорость движения перицентра, которая равна  $\dot{\omega} = -0.77$  рад/период. Это говорит о том, что у данной пульсарной планеты существует прецессия линии апсид. Т.к. пульсар B0525+21 наблюдается только в радиодиапазоне, существование у него аккреционного диска маловероятно; следовательно, наблюдаемая прецессия может быть вызвана наличием газопылевого диска или пояса астероидов вокруг пульсара.

# МЕТОДИКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ РАЗВЕТВИТЕЛЕЙ

**Т.С. Тебенева<sup>1</sup>, О.В. Бендеров<sup>1</sup>, Б.С. Степанов<sup>2</sup>, А.И. Игнатов<sup>3</sup>, А.В. Родин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Московский физико-технический институт, Москва, Россия*

*tebeneva.ts@phystech.edu*

<sup>2</sup> *Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Деярых РАН*

<sup>3</sup> *ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики  
им. Н.Л.Духова*

**Научный руководитель: Родин А.В., к.ф.-м.н.**

*Московский физико-технический институт, Руководитель Лаборатории  
прикладной инфракрасной спектроскопии МФТИ, Москва, Россия*

Спектроскопия высокого разрешения широко применяется для большого ряда задач, в том числе для анализа разреженных молекулярных газов. Многие задачи мониторинга климата, такие как измерение содержания парниковых газов в атмосфере Земли, могут быть решены лишь с помощью приборов, разрешающих отдельные колебательно-вращательные линии в ИК диапазоне спектра.

Единственным известным методом, позволяющим избежать снижения чувствительности приемника при увеличении разрешающей силы, является гетеродинный прием. Одной из основных проблем гетеродинирования в ближнем и среднем ИК-диапазоне являются жесткие требования к юстировке при совмещении фронтов сигнального излучения и излучения локального осциллятора. Эта проблема снимается, если излучение распространяется в одномодовом волноводе, поэтому целесообразно использовать волоконные разветвители.

Целью данной работы является разработка одномодового волоконного разветвителя на основе халькогенидных оптических волокон. Было проведено предварительное моделирование требуемых геометрических параметров разветвителя для достижения необходимого коэффициента деления мощности на выходе разветвителя при сохранении низких избыточных потерь. Для экспериментальной реализации разветвителя был разработан стенд, позволяющий отслеживать мощность на выходных портах разветвителя.

В работе использовались одномодовые оптоволокна изготовленные из стекла  $As_2S_3$  с диаметром сердцевины/оболочки 6.3/123 мкм, числовой апертурой равной 0.17, и оптическими потерями  $\sim 200$  дБ/км на длинах волн 2.1–2.2 мкм, изготовленные в ИХВВ РАН. Для создания волоконного разветвителя применялся метод FBT (fused biconical taper). Два участка волокна были четыре раза скручены между собой и зафиксированы. К концам волокон были прикреплены калиброванные 1.5-граммовые грузы, для поддержания постоянного натяжения. Сплавка волокон производилась потоком аргона при температуре  $\approx 200$  °C при постоянном натяжении волокон. В экспериментальной установке, в качестве источника сигнала использовался одномодовый диодный лазер с волоконными выводами с длиной волны излучения 1.5 мкм. Для мониторинга мощности на выходных портах разветвителя использовались два фотодетектора InGaAs от Hamamatsu. Коэффициент деления был измерен на длинах волн 1.5 и 2.64 мкм с использованием одномодового диодного лазера от Nanoplus и фотодиода InAs от Hamamatsu. Достигнутый коэффициент деления на длине волны 1.5 мкм составил 55:45 при избыточных потерях 5 dB. На длине волны 2.64 мкм коэффициент деления составил 63:37.

# СВЕТОДИОДНЫЙ ИМИТАТОР СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ

**С.Э. Тикото, Н.С. Магонь, И.А. Свито**

*Белорусский государственный университет, физический факультет,  
кафедра энергофизики  
sergeytikoto@gmail.com*

Научный руководитель: Тиванов М.С., кандидат физико-математических наук  
Белорусский государственный университет, физический факультет, кафедра  
энергофизики

Как известно, основным источником электроэнергии для космических спутников являются солнечные батареи на основе полупроводниковых материалов [1]. В условиях открытого космоса на солнечные батареи действуют различные физические факторы, влияющие на их рабочие характеристики и параметры. Среди таких факторов можно выделить космическое излучение и повышенную рабочую температуру, которые приводят к деградации солнечных элементов [2]. Влияние повышенной температуры сказывается как на спектральной характеристике фото чувствительности, так и на параметрах нагрузочной вольт-амперной характеристики, приводя к уменьшению эффективности солнечного элемента. Таким образом, изучение влияния повышенной температуры на характеристики и параметры солнечных элементов космического назначения представляет значительный интерес и имеет большую практическую значимость.

Нами предлагается простая конструкция светодиодного имитатора солнечного излучения для изучения зависимостей вольт-амперных характеристик солнечных элементов от температурных условий. Предлагаемый солнечный имитатор состоит из следующих основных конструктивных элементов: светодиодная матрица мощностью 100 Вт ProLight PABB-100FWL-NAAN со спектром излучения, перекрывающим диапазон 420-800 нм, термостатируемая площадка для размещения солнечного элемента, позволяющая регулировать температуру элемента в диапазоне 25-100°C, контактная площадка, источник питания светодиода IT6333V ITECH DC Power Supply, источник-измеритель KEITHLEY 2400 для измерения вольт-амперных характеристик, персональный компьютер с установленным программным обеспечением для управления приборами и записи данных. Контроль температуры осуществляется с помощью резистивного термометра Pt100. Регулировка высоты расположения светодиода позволяет изменять интенсивность падающего излучения.

Преимущество предлагаемой конструкции заключается в ее простоте, невысокой стоимости составляющих элементов, при этом результаты измерений показывают хорошее соответствие результатам, полученным на промышленном имитаторе солнечного излучения (Abet Technologies model 10500).

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. Фаренбрух, Р. Бьюб, СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ *Теория и эксперимент*, Москва ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1987 г.
2. Priyanka Singh, N.M. Ravindra Temperature dependence of solar cell performance—an analysis, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 101 (2012) 36-47.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ ИОНИЗОВАННОГО ВОДОРОДА НА ПОИСК ИОНИЗУЮЩЕГО ИСТОЧНИКА

**А.П. Топчиева**

*Институт астрономии РАН, Россия  
stasyat@inasan.ru*

**Научный руководитель: Вибе Д.З., д.ф.-м.н.**

*Институт астрономии РАН, Россия*

Мы используем каталог, разработанный в статье Топчиева А. П. и др., 2017 [1,2] и Topchieva et al., 2018 [3]. В каталог включены 99 зон HII, которые имеют замкнутую структуру и визуально на длине волны 8 мкм напоминают кольцо.

В данной работе определено потенциальное местоположение молодых звездных объектов (МЗО) в направлении на зону HII из каталога Топчиева А. П. и др., 2017 [2] и Topchieva et al., 2018 [3]. Работа проводилась по поиску МЗО на основании данных SIMBAD, а расстояния до зон HII были взяты из каталога WISE [4].

Также определен поток в радиоконтинууме на длине волны 20 см в направлении на зону HII из каталога Топчиева А. П. и др., 2017 [2] и Topchieva et al., 2018 [3]. Использовались данные обзоров NVSS, а также Very Large Array (VLA) Galactic Plane Survey на длине волны 21 см (Stil et al. 2006), определен поток УФ-квантов [5] и оценен спектральный класс звезд [6], ионизирующих зоны HII.

Проделанная работа является фундаментом для анализа и сравнения с теоретическими расчетами.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-32-50058.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. Topchieva, D. Wiebe, M. Kirsanova, V. Krushinsky: Infrared Morphology of Regions of Ionized Hydrogen, submitted to Astronomy Reports, 2017.
2. Топчиева А. П., Вибе Д. З., Кирсанова М. С., Крушинский В. В.: Морфология излучения областей ионизованного водорода в инфракрасном диапазоне, *Астрономический журнал*, 2017, v. 94, n. 12, p. 1003-1019.
3. А. Topchieva, D. Wiebe, M. Kirsanova: Global photometric analysis of galactic HII regions, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 2018.
4. Anderson L. D. et al.: The WISE Catalog of Galactic H II Regions. *The Astrophysical Journal Supplement*, v 212, Issue 1, article id. 1, pp., 2014.
5. Dirienzo W. J., Indebetouw R., et al.: Testing Triggered Star Formation in Six H II Regions, *The Astronomical Journal*, v. 44, Iss. 6, article id. 173, pp., 2012.
6. Vacca W. D., Garmany C. D., Shull J. M.: The Lyman-Continuum Fluxes and Stellar Parameters of O and Early B-Type Stars, *APJ*, 1996.

# ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ НА ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДАХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**П.С. Тундыков, П.И. Гнусин**  
ООО «Нева Технолоджи»

Волоконно-оптические измерительные системы представляют собой высокоточный инструмент для долговременного мониторинга состояния ответственных технических объектов, и включают миниатюрные оптические датчики локальных деформаций, температуры или других физических величин, а также универсальную аппаратуру для их опроса.

Отличительными качествами датчиков на базе волоконных Брэгговских решеток (ВБР) являются малый дрейф, высокая чувствительность и точность, миниатюрность, длительный срок службы, высокая устойчивость к агрессивным средам и вибрации, нечувствительность к электромагнитным помехам, большое число подключаемых датчиков при малых габаритах регистрирующих устройств, возможность внедрения чувствительных элементов в полимерные композиционные материалы на стадии их формирования. Эти качества делают их весьма привлекательным инструментом для построения систем измерения для нестандартных объектов, и особенно в космических аппаратах и стендах для испытаний и доводки деталей летательных аппаратов.

К сожалению, в силу относительно недавнего появления, существующая техника в настоящее время не применяется в составе космических аппаратов и изделий ракетной техники, в том числе по причине отсутствия приемно-регистрирующей техники соответствующего исполнения. Тем не менее, существующая техника позволяет успешно использовать датчики для мониторинга состояния композитных деталей самолетов, анализа напряженно-деформированного состояния элементов планера и крыла, мониторинга состояния двигателя в режиме полета, а также применять датчики для проведения измерений на испытательных стендах космических аппаратов и спутниковых систем.

Основная часть доклада посвящена применению волоконно-оптических ВБР-датчиков для измерения натяжения армалоновых нитей и углепластиковых стержней, используемых для раскрытия солнечных панелей на испытательном стенде космического аппарата, а также при анализе раскрытия прототипов рефлекторов спутниковых антенн. Будет также представлен ряд результатов и разработок, полученных для систем авиационного применения.

В докладе также будут кратко описаны прочие работы по интеграции систем высокоточных измерений, проведенные ООО «Нева Технолоджи» для оснащения стендов космических аппаратов, в частности, лазерных трекеров, лазерных радаров, системы корреляции цифровых изображений (DIC).

# ПУЛЬСАРНАЯ ШКАЛА ВРЕМЕНИ НА ОСНОВЕ НАБЛЮДЕНИЙ В ПАРКСЕ 1995 — 2010 ГГ. И ЕЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

**В.А. Фёдорова**

*Пушчинская Радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Россия  
Пушчинской Государственный естественно-научный институт, Россия  
fedorova-astrofis@mail.ru*

**Научный руководитель: Родин А.Е., к.ф.-м.н.**

*Пушчинская Радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Россия*

Пульсарный тайминг — это уникальный метод, позволяющий проводить исследования в различных направлениях науки от космологии до фундаментальной метрологии. Хронометрирование пульсаров — это метод определения момента прихода импульса (МПИ) в топоцентре, на основе чего можно создать высокоточную пульсарную шкалу времени. Ценность такой шкалы состоит в том, что она долговременна, неуничтожима, а также имеет высокую точность на временных интервалах более нескольких лет. Модель пульсарной шкалы описывается, как непрерывная последовательность интервалов времени между импульсами, относительно начального момента времени  $t_0$ . Алгоритм формирования групповой пульсарной шкалы основывается на измерении МПИ нескольких пульсаров относительно опорного единой опорной шкалы, а также на применении оптимального винеровского фильтра. Такой метод позволяет построить пульсарную шкалу с высокой точностью.

В рамках работы получены барицентрические остаточные уклонения миллисекундных пульсаров относительно шкалы TT(BIPM2011), а также построена групповая пульсарная шкала, с применением двух различных методов ее вычисления. Определена относительная нестабильность  $\sigma_g$  групповой пульсарной шкалы, которая составляет величину  $(0.6 \pm 1.6) \cdot 10^{-15}$  на 15-летнем интервале. Этот результат соответствует уровню плотности энергии реликтового гравитационно-волнового потенциала  $\Omega_g h^2 \sim 10^{-10}$  в диапазоне  $10^9$  Гц, а также величине осцилляций гравитационного потенциала, которая составляет  $10^{-15}$  на указанной частоте.

# РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

**Д.В. Фетисов, А.Н. Колесенков**

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет»,  
Россия  
morzitko@gmail.com

**Научный руководитель: Колесенков А.Н., к.т.н., доцент, доцент кафедры КТ ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет», Россия**

С развитием современных геоинформационных технологий постоянно возрастает значимость использования результатов космической съемки, которые аккумулируются в геоинформационных системах, применяющихся в различных сферах деятельности человека. Достижения, связанные с обработкой данных дистанционного зондирования Земли, позволяют удаленно наблюдать за объектами, территориями и окружающей средой, производить оценку и прогноз изменения ее состояния под воздействием различных факторов.

Регулярные наблюдения за эксплуатацией недр являются одной из основных целей космического мониторинга, который включает следующие основные задачи:

1. Оценка состояния объекта недропользования.
2. Прогнозирование состояния объекта недропользования.
3. Информационная поддержка принятия управленческих решений по прогнозированию и раннему предупреждению чрезвычайных ситуаций, а также процедур управления и контроля процессов недропользования.
4. Выявление фактов незаконного недропользования и разработка мер по их устранению.

В качестве объекта исследования используются космические снимки оптического диапазона, полученные в разные моменты времени со спутника «Landsat». В данной работе осуществляется разработка и адаптация математической модели процесса космического мониторинга, в которой отражается описание атрибутов объекта, процесса изменения во времени значений этих атрибутов под влиянием внешних и внутренних факторов. Каждый объект имеет постоянные (кадастровый номер участка, тип участка, географические координаты) и динамические атрибуты (температура, высота). В соответствии с этим модель объекта недропользования состоит из объекта недропользования (скважина, карьер), его статической функции, постоянных и динамических атрибутов, а также состояния объекта в конкретный момент времени.

В результате анализа разработанной модели космического мониторинга недропользования выявлено, что для достижения поставленной цели необходимо:

1. Разработать эффективные алгоритмы обработки космических снимков, полученных со спутника «Landsat».
2. Провести экспериментальные исследования разработанных алгоритмов.
3. Провести эксперименты с использованием разновременных космических снимков.

Построенная модель является основой для разработки геоинформационной системы космического мониторинга недропользования.



# ЭФФЕКТ ДВИЖЕНИЯ ФАЗОВОГО ЦЕНТРА БОРТОВЫХ И НАЗЕМНЫХ ПОЛНОПОВОРОТНЫХ АНТЕНН В ПРЕЦИЗИОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

**А.И. Филеткин<sup>1</sup>, Д.А. Литвинов<sup>1,2</sup>, В.Н. Руденко<sup>1</sup>, М.В. Захваткин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ГАИШ МГУ, Москва, Россия

*ai.filetkin@physics.msu.ru*

<sup>2</sup>АКЦ ФИАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

**Научный руководитель: Руденко В.Н., д.ф.-м.н.**

*ГАИШ МГУ, Москва, Россия*

Эффект движения фазового центра полноповоротных антенн является источником существенных поправок к расчетным значениям задержек и частот сигналов при определении орбит космических аппаратов (КА), а также неотъемлемой частью современных моделей временной задержки в радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) [1]. В обоих случаях речь идет о наземных антеннах, где поправка обусловлена ненулевым смещением между осями вращения опорно-поворотного устройства. Остронаправленные антенны КА также приводят к возникновению данного эффекта в случае несовпадения точки пересечения осей привода антенны и центра масс спутника. Однако, до недавнего времени остронаправленные антенны в основном использовались межпланетными КА, величина эффекта для которых пренебрежимо мала из-за большого удаления от Земли. Развитие наземно-космической РСДБ (VSOP, «РадиоАстрон») с КА на околоземных орбитах требует пересмотра необходимости учета данного эффекта для бортовых антенн.

В докладе предполагается рассмотреть результаты исследования эффекта движения фазового центра бортовой остронаправленной антенны для околоземных спутников на высокоэллиптических орбитах. На основе анализа реальной орбиты КА «Спектр-Р» ( $e \sim 0.95$ ) миссии «РадиоАстрон», а также с учетом его геометрии и массово-инерционных характеристик мы получили, что величина поправки за счет бортового антенного эффекта на отдельных участках траектории достигает 6 мм/с для скорости и, следовательно, должна учитываться даже для целей радиотехнического определения орбиты. Данный вывод подтверждается результатами нескольких сеансов доплеровских измерений, выполненных во время проведения научных наблюдений с помощью спутника. Для спутников проекта наземно-космической РСДБ [2] ( $e \sim 0.79$ ) величина эффекта оказывается на уровне 3.7 мм/с.

Также будет представлен результат анализа антенного эффекта для случая спутника, оснащенного двумя одновременно работающими линиями радиосвязи: однонаправленной «спутник–Земля» и двунаправленной «Земля–спутник–Земля». Подобная схема была впервые использована на КА миссии Gravity Probe A [3] для компенсации нерелятивистского эффекта Доплера и тропосферного сдвига. В настоящее время данная компенсационная схема является неотъемлемой частью многих космических гравитационных экспериментов. Результат проведенного анализа показал, что применение данной схемы позволяет полностью скомпенсировать эффект движения фазового центра бортовой антенны, а также существенно уменьшить величину поправки за счет наземной антенны.

## ЛИТЕРАТУРА

1. T. D. Moyer, Formulation for observed and computed values of Deep Space Network data types for navigation, Wiley – Interscience, 2005.
2. X. Hong, Z. Shen, T. An, Q. Liu, The Chinese space Millimeter-wavelength VLBI array-A step toward imaging the most compact astronomical objects, Acta Astronautica 102, 217–225, 2014.
3. R. F. C. Vessot, M. W. Levine et al, Test of relativistic gravitation with a spaceborne hydrogen maser, Physical Review Letters 45, 2081–2084, 1980.

# РЕНТГЕНОВСКАЯ ФУНКЦИЯ СВЕТИМОСТИ КВАЗАРОВ НА $3 < z < 5$ , ОТОБРАННЫХ ПО ДАНЫМ ОБСЕРВАТОРИИ ХММ-НЬЮТОН

**Г.А. Хорунжев, С.Ю. Сазонов, Р.А. Буренин**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия  
horungev@mail.ru*

**Научный руководитель: Сазонов С.Ю., д.ф.-м.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

Измерена рентгеновская функция светимости далеких ( $3 < z < 5.1$ ) квазаров первого типа - без значительного поглощения в рентгеновском спектре. Использована выборка 104 оптически ярких рентгеновских квазаров и кандидатов в квазары со светимостями  $\log L > 45$  эрг/с из каталога Хорунжева и др. 2016, составленного по данным каталога 3XMM-DR4 <<случайного>> обзора обсерватории ХММ-Ньютон и оптического обзора SDSS.

Использование данных широкополосной фотометрии SDSS для отбора и оценки красных смещений кандидатов в квазары позволило увеличить на 20% число квазаров на  $z > 3$ .

Удалось получить надежные оценки пространственной плотности далеких рентгеновских квазаров большой светимости. Исследовано, как влияет на результат остающаяся неопределенность полноты обнаружения рентгеновских источников в обзоре SDSS. Впервые надежно ограничен степенной наклон рентгеновской функции светимости далеких квазаров в ее яркой части - выше светимости излома.

# КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ЯВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

**А.А. Хохлачев, И.Г. Лодкина, Ю.И. Ермолаев**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия  
aleks.xaa@yandex.ru*

**Научный руководитель: Ермолаев Ю.И., д.ф.-м.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

Работа посвящена экспериментальному исследованию солнечного ветра (СВ). Благодаря неоднородности и нестационарности солнечной короны солнечный ветер около Земли структурирован и включает 3 типа квазистационарных потоков СВ: гелиосферный токовый слой (HCS), высокоскоростные потоки из корональных дыр (HSS) и медленные потоки из корональных стримеров, и 5 возмущенных типов СВ: области сжатия перед быстрыми потоками HSS (CIR), межпланетные проявления выброса корональной массы (ICME), которые могут включать в себя магнитные облака (MC) и Ejecta с областями сжатия Sheath ( $SHE_{MC}$  и  $SHE_{EJ}$ , соответственно), предшествующие им. На основе базы данных многоспутниковых измерений параметров солнечного ветра OMNI в ИКИ РАН был создан каталог крупномасштабных явлений СВ за период 1976-2016 гг. (см. сайт <ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/>). Целью данной работы является анализ различных параметров плазмы и магнитного поля в различных типах СВ из данного каталога и их сравнение для 4 циклов солнечной активности и всего периода: 1976-2016гг, 1976-1986гг (21 солнечный цикл), 1987-1996гг (22 солнечный цикл), 1997-2009гг (23 солнечный цикл), 2010-2016гг (24 солнечный цикл). Наш анализ показывает, что 24й цикл заметно слабее предыдущих циклов: в нем не только меньше число возмущенных типов СВ, но и некоторые параметры не достигают высоких значений.

# СВЕРХКОРОТКИЙ ФРАКТАЛЬНЫЙ РАДИОИМПУЛЬС НА МЕЖПЛАНЕТНОЙ ТРАССЕ

**Ю.С. Худышев**

*Фрязинский филиал института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН, Россия  
xantaresx@yandex.ru*

**Научный руководитель: Стрелков Г.М., д.ф.-м.н.**

*Фрязинский филиал института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН, Россия*

Фрактальные радиоимпульсы образуют новый класс сигналов и обладают рядом преимуществ, одним из которых является их значительно более широкий спектр по сравнению с нефрактальными сигналами равной длительности.

В докладе в рамках существующих аналитических моделей фрактальных импульсов рассмотрен возможный процесс их трансформации к виду последовательности изолированных подимпульсов при распространении по трассам, интегральное электронное содержание которых характерно для межпланетных расстояний. При этом спектральные интервалы, занимаемые подимпульсами на частотной оси, не пересекаются. Рассмотрены авто- и частотные корреляционные функции фрактальных сигналов. Показано, что внесение управляемых вариаций в спектр фрактального импульса позволяет значительно изменять вид его корреляционных функций и тем самым обеспечивать скрытность передачи информации по межпланетным трассам.

# МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ГОРЕНИЯ В ЖРД ТЯГОЙ БОЛЕЕ 4КН

**Р.А. Царапкин, Е.Д. Ананьев, В.Н. Иванов**

ФКП «НИЦ РКП», Пересвет, Россия

*KniaZ988@mail.ru*

Настоящая «Методика» предназначена для проведения оценок запаса устойчивости рабочего процесса (процесса горения) в камерах и газогенераторах ЖРД к «жесткому» возбуждению периодических акустических автоколебаний.

«Методика» построена на базе теории автоколебательных динамических систем и одномерных марковских случайных процессов с использованием аппарата уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова.

«Методика» реализует оценку зависимости коэффициента демпфирования исследуемой динамической системы (камеры сгорания) от амплитуды колебаний давления без использования стандартных внешних импульсных возмущающих устройств и применима в анализе стационарных сигналов датчиков пульсаций давления, идентифицированных в классе «резонансный узкополосный шум горения» (РУШГ).

При разработке «Методики» использовались следующие стандартные алгоритмы (входящие в пакет программ ПОС НПП «Мера»):

- оценки амплитудного спектра сигнала;
- оценки автокорреляционной функции сигнала;
- рекурсивной полосовой фильтрации сигнала;
- выделения огибающей фильтрованного сигнала (с использованием преобразования Гильберта);
- оценки плотности распределения вероятности, огибающей и мгновенных значений сигнала;

Теоретические положения «методики» верифицированы на сигналах модельных экспериментальных камер сгорания.

# РАЗВИТИЕ ДРЕЙФОВОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ

**О.О. Царева<sup>1,2</sup>, G. Fruit<sup>2</sup>, P. Louarn<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

<sup>2</sup>IRAP University Paul Sabatier  
olga8.92@mail.ru

Для понимания механизмов дестабилизации токового слоя в хвосте магнитосферы Земли были изучены дрейфовые электромагнитные волны, индуцированные неоднородностями плотности плазмы. Такие волны распространяются вдоль и поперек однородного и постоянного магнитного поля как малые возмущения на фоне однородного равновесного состояния.

Возмущенная функция распределения является решением линейризованного уравнения Власова. Она позволила найти плотность тока и применить закон Ампера - Максвелла с кулоновской калибровкой. Дисперсионное соотношение представляет определитель матрицы из 4х уравнений, равный нулю.

Корни дисперсионного соотношения найдены аналитически из предположения, что модуль параллельного волнового вектора гораздо меньше модуля перпендикулярного, и численно. Выяснилось, что плазма обладает тремя собственными модами: одной поперечной крутильной и двумя продольными, поскольку магнитные линии колеблются перпендикулярно и параллельно направлению распространения, соответственно. Две моды являются затухающими и одна неустойчивой с умеренным темпом роста.

Таким образом, было доказано, что наличие градиента плотности в однородно-замагниченной плазме приводит к возникновению неустойчивости электромагнитных волн. Эта модель может применяться к околоземному хвосту магнитосферы ( $8 R_E < L < 10 R_E$ ) с высоким градиентом плотности и малой кривизной магнитных линий. Полученные результаты также необходимы для будущих исследований резонансного взаимодействия электромагнитных флуктуаций с захваченными осциллирующими электронами в хвосте магнитосферы.

# ВЛИЯНИЕ РАДИАТИВНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ГАЗОДИНАМИКУ АТМОСФЕРЫ ГОРЯЧЕГО ЮПИТЕРА HD 209458B

**А.А. Черенков<sup>1</sup>, Д.В. Бисикало<sup>1</sup>, А.Г. Косовичев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт астрономии РАН, Россия*

*cherenkov@inasan.ru*

<sup>2</sup> *New Jersey Institute of Technology, Newark, USA*

**Научный руководитель: Бисикало Д.В., д.ф-м.н.**

*Институт астрономии РАН, Россия*

Близкие экзопланеты подвержены экстремальному излучению их родительских звезд. Фотометрические наблюдения транзита горячего Юпитера HD 209458b на инструменте HST/STIS выявили сильное поглощение в линии Лайман-альфа, что указывает на существование водородной оболочки, выходящей за пределы полости Роша. Гидродинамическое моделирование, выполненное нашей научной группой, показало, что стабильная структура этой оболочки поддерживается балансом между переполнением полости Роша и динамическим давлением звездного ветра. Другие авторы полагают, что на динамику и стабильность оболочки может также существенно влиять радиативное давление излучения родительской звезды. В представленной работе исследуется влияние радиативного давления в линии Лайман-альфа на оболочку горячего Юпитера HD 209458b. При расчете давления излучения учитывается доплеровский сдвиг в линии, поглощение излучения при его распространении в атмосфере и расчет наравновесной ионизации.

На основе трехмерного численного моделирования показано, что суммарный импульс давления поглощаемого излучения в линии Лайман-альфа не достаточен, чтобы оказать существенное влияние на газодинамику атмосферы горячего Юпитера HD 209458 b — давление излучения изменяет динамику только тонкого слоя вещества, расположенного ближе всего к звезде. Для исследования влияния давления излучения были проведены дополнительные расчеты с увеличенной интенсивностью излучения, по результатам которых показано, что этот физический эффект существенно меняет картину течения только при увеличении интенсивности линии Лайман-альфа на два порядка. Так же мы хотим подчеркнуть, что, вероятно, для других планет, таких как теплых Нептунов и горячих Юпитеров, вращающихся вокруг звезд с более интенсивной линией Лайман-альфа, давление излучения может оказывать существенное влияние на газодинамику их верхних слоев атмосферы.

# СИСТЕМА ПРОГРАММ OPTIMSPECTROMETER ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СПЕКТРОМЕТРОВ ЭНЕРГИЧНЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

**Н. П. Чирская, И.А. Золотарев, Л.С. Новиков, В.И. Оседло, В.И. Тулупов**  
*НИИЯФ МГУ, Москва, Россия*  
*chirskaya.sinp@yandex.ru*

Радиационный мониторинг околоземного космического пространства осуществляется с помощью спектрометров заряженных частиц. Сложность создания универсального устройства для радиационного мониторинга обусловлена многокомпонентностью потоков ионизирующего излучения и неоднородностью радиационных условий в околоземном пространстве. Для проектирования спектрометров требуется оптимизировать параметры, влияющие на их характеристики, для каждой целевой орбиты спутников.

При прохождении потока заряженных частиц через детекторы, входящие в состав спектрометра, потери энергии отдельных частиц испытывают флуктуации, обусловленные статистической природой процесса ионизации, причем при регистрации электронов вследствие их малой массы статистические флуктуации потерь энергии значительно больше, чем при регистрации протонов. Поэтому для достижения необходимой точности измерений необходимо проводить математическое моделирование энерговыделений от различных типов частиц в детекторах. Статистические методы обработки полученных в результате численного моделирования данных позволяют уточнить величины порогов приборов и определить эффективность регистрации в отдельных энергетических каналах. Данный подход требует большого объема расчетов из-за варьирования параметров конструкции спектрометра. Для упрощения таких процедур разработана методика расчета и создан комплекс программ OptimSpectrometer для подбора параметров геометрии спектрометров и их энергетических порогов.



# АЛГОРИТМ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПОМЕХ В ЦИФРОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТКАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

**В.А. Чистяков**

*АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева, Железногорск, Красноярский край, Россия  
vitalys1367@mail.ru*

**Научный руководитель: Бондаренко Валерий Николаевич, д.т.н., доцент.**  
*Сибирский Федеральный Университет, Институт Инженерной Физики и Радиоэлектроники, Россия*

В статье рассматривается алгоритм адаптивной фильтрации сигналов на фоне помех в спутниковых системах связи. Это объясняется тем, что данное направление играет важную роль в развитии космических технологий, так как обеспечение помехозащиты каналов связи является приоритетной задачей в условиях как мирного, так и военного времени.

Адаптивный алгоритм основан на методе прямого обращения корреляционной матрицы сигналов поступающих на вход антенной системы. Приведены основные достоинства и недостатки алгоритма, наряду с этим предложены варианты решений основных трудностей связанных с обращением вырожденной корреляционной матрицы. Также автором предложен оптимальный алгоритм поиска обратной матрицы, с целью экономии вычислительных ресурсов цифровой аппаратуры.

Кроме этого, приведена работа алгоритма адаптивной фильтрации узкополосных полезных сигналов на фоне активных шумовых помех, путем формирования нулей в диаграмме направленности антенной решетки в направлении мешающих сигналов.

Процесс адаптивной фильтрации представлен на примере плоской прямоугольной 25-ти элементной антенной решетки, на вход которой поступают полезные и мешающие сигналы.

В результате моделирования алгоритма автором сформирована адаптивная диаграмма направленности антенной решетки, также представлен спектр полезного сигнала прошедшего адаптивную обработку, в ходе которой удалось отфильтровать составляющие мешающих сигналов.

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРЕ МАРСА В ПЕРИОД ГЛОБАЛЬНОЙ ПЫЛЕВОЙ БУРИ MУ28 В МОДЕЛИ MAOAM

**Д.С. Шапошников<sup>1</sup>, А.В. Родин<sup>1,2</sup>, А.С. Медведев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Московский физико-технический институт, Москва, Россия*  
*shaposhnikov@phystech.edu*

<sup>2</sup> *ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Институт исследований Солнечной системы им. Макса Планка*

**Научный руководитель: Родин А.В., к.ф.-м.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

Водяной цикл играет значительную роль в климате Марса. Кроме того, водяной пар может быть очень чувствительным индикатором процессов переноса, что особенно важно для трехмерных климатических моделей.

В данной работе мы хотим представить новый гидрологический блок модели общей циркуляции атмосферы Марса, разработанной в Московском физико-техническом институте и Институте исследований Солнечной системы им. Макса Планка (MPI-MGCM), также известной как MAOAM (Martian Atmosphere: Observation and Modeling), и расширенной до высот примерно 150 км. Модель имеет спектральное динамическое ядро и успешно предсказывает скорости ветра и температуры благодаря использованию физических параметризаций, характерных как для земных, так и для марсианских моделей. Гидрологический блок включает двух-моментную микрофизику, адвекцию, диффузию, седиментацию пассивных примесей в зависимости от среднего радиуса частиц и схему взаимодействия с поверхностью.

Модель MAOAM успешно воспроизводит как сезонное распределение водяного пара и льда, так и географическое по широтам и долготам. Кроме того для отдельно взятых орбит хорошо воспроизводятся вертикальные профили концентрации водяного пара, ледяных частиц и эффективных радиусов частиц водяного льда. Более детальное сравнение географического распределения водяного пара показывает несколько отдельных пиков концентрации на разных долготах в сезон  $L_s 90\text{--}150^\circ$  ( $L_s$  – solar longitude, определяет сезон на Марсе,  $0^\circ$  соответствует весеннему равноденствию в северном полушарии). Для сравнения модели с экспериментом используются наиболее современные данные спутника Mars Express – наблюдения в течение 10 земных лет ИК-спектрометра SPICAM (5 марсианских лет MУ 27–31).

В данной работе представлено моделирование поведения водяного пара и льда в период глобальной пылевой бури MУ 28, влияние распределения пыли на результаты моделирования и сравнение с имеющимися экспериментальными данными.

Работа выполнена в Лаборатории прикладной инфракрасной спектроскопии МФТИ при поддержке гранта РФФИ 100027.07.32.РНФ27.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПУТНИКА И ПЛАЗМЫ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

**А.А. Шарамет**

*БФУ им. И. Канта*

*alexsharamet@gmail.com*

**Научный руководитель: Зинин Л.В., д.ф.-м.н.**

*БФУ им. И. Канта*

Хорошо известны проблемы, которые возникают в ходе непосредственного изучения тепловой плазмы космическими аппаратами в верхних слоях ионосферы. В первую очередь, влияние потенциала самого спутника на масс-спектрометрические измерения. Различные меры, предпринимаемые по его уменьшению, зачастую влияли на само проведение измерений[1-3], и так или иначе не решали проблему взаимодействия спутника и плазмы.

Выходом из сложившейся ситуации, как известно, является корректировка результатов на основе модели взаимодействия. К классическим методам моделирования можно отнести гидродинамический подход и метод крупных частиц, которые развивались как в нашей стране[4-6], так и за рубежом[7-8]. Появление доступных терафлопных и петафлопных вычислений позволило задуматься над более точным методом прямого моделирования на основе уравнений молекулярной динамики, где все частицы двигаются под действием силы Лоренца, причем напряженность электрического поля вычисляется с учетом всех частиц в модельной области и заряженного спутника.

Моделируемое пространство представляет собой куб, в 2D приближении квадрат, грани которого имеют длину от 0.5 до 1 м, потенциал спутника 5В, температура плазмы от 3000 до 5000 К. Скорость спутника от 5 до 20 км/с. Представленная модель, описанная в работах [9-11], позволила построить реальную картину взаимодействия частиц с космическим аппаратом [9], построить модель ионной тени[10], а также построить траектории ионов водорода и электронов[11] в 2D приближениях.

Модель обладает хорошим запасом масштабирования на больших вычислительных системах, но тем не менее требует огромных вычислительных ресурсов, в связи с тем, что для вычисления положения координаты частицы на следующем временном шаге требуется предварительно вычислить напряжённость электрического поля для этой частицы, которая включает в себя сумму векторов напряжённостей от всех остальных частиц плазмы и напряжённость от спутника.

Для сходимости метода требуется от 3000 до 7000 тысяч итераций.

При большом количестве уравнений, на которое влияют размер области и концентрация частиц в  $\text{см}^3$ , объём вычислений значительно увеличивается. Для решения подобной задачи требуется огромная вычислительная мощность, сконцентрированная на каждом из узлов.

Концентрация ( $\text{см}^3$ )	1	10	100	1000	1000
Грань куба (м)	1	1	1	1	10
Количество частиц	$10^6$	$10^7$	$10^8$	$10^9$	$10^{10}$
Количество уравнений на 1000 шагов	$10^{15}$	$10^{17}$	$10^{19}$	$10^{21}$	$10^{23}$

Выходом в сложившихся обстоятельствах, является использование акселераторов на основе GPU и оптимизация хранения и передачи данных как между узлами, так и между CPU и GPU на самом узле[12-13].

В связи с бурным ростом производительности и объемом видеопамати ускорителей, а так же модификации их ядер в сторону одинаково качественных вычислений как с одинарной, так и двойной точностью предполагается качественный скачок и увеличение размеров моделируемого пространства, а так же повышение концентрации частиц.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-01-00394

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гальперин Ю.И., Гладышев В.А., Козлов А.И. и др. Электромагнитная совместимость научного космического комплекса АРКАД-3. М., Наука, 1984
2. Ридлер В., Торкар К., Веселов М.В., Гальперин Ю.И., Педерсен А., Шмидт Р., Арендс Х., Руденауэр Ф.Г., Ферингер М., Перро С., Зинин Л. В. Эксперимент РОН по активному регулированию электростатического потенциала космического аппарата // Космические исследования. 1998. Т.36. № 1. С. 53-62.
3. Torkar K., Veselov M. V., Afonin V. V., Arends H., Fehringer M., Fremuth G., Fritzenwallner K., Galperin Yu. I., Kozlov A. I., Perraut S., Riedler W., Rudenauer F., Schmidt R., Smit A., Zinin L. V. An experiment to study and control the Langmuir sheath around INTERBALL-2 // Ann. Geophys., 1998, V.16, P.1086-1096.
4. Zinin L., Grigoriev S., Rylina I. The models of electric field distributions near a satellite // Proceedings of the conference in memory of Yuri Galperin, eds: L. M. Zelenyi, M. A. Geller, J. H. Allen, CAWSES Handbook-001. 2004. P. 76–83.
5. Рылина И. В., Зинин Л. В., Григорьев С. А., Веселов М. В. Гидродинамический подход к моделированию распределения тепловой плазмы вокруг движущегося заряженного спутника // Космические исследования. 2002. Т. 40. С. 395—405.
6. Котельников В.А., Котельников М.В., Гидаспов В. Ю. Математическое моделирование обтекания тел потоками столкновительной и бесстолкновительной плазмы. М.: Физматлит. 2010. 272 С.
7. Katz I., Mandell M. L. Differential charging of high-voltage spacecraft: The equilibrium potential of insulated surfaces // J. Geophys. Res. 1982. V. 87. P. 5433.
8. Katz I., Stannart P. R., Gedeon L. et al. NASCAP simulations of spacecraft charging of the SCATHA satellite // Spacecraft/plasma interactions and their influence on field and particle measurements. Proceeding of the 17th ESLAB symposium. Noordwijk. The Netherlands. 13–16 Sept., 1983. ESA SP-198. P. 109–114.
9. Зинин Л. В., Ишанов С. А., Шарамет А. А., Мацеевский С. В. Моделирование распределения ионов вблизи заряженного спутника методом молекулярной динамики. 2-D приближение // Вестник БФУ им. И. Канта. 2012. Вып. 10. С. 53—60.
10. Шарамет А. А., Зинин Л. В., Ишанов С. А., Мацеевский С. В. 2D моделирование ионной тени за заряженным спутником методом молекулярной динамики // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2013. Вып. 10. С. 26—30.
11. Зинин Л. В., Шарамет А. А., Ишанов С. А., Мацеевский С. В. моделирование траекторий электронов и ионов тепловой плазмы в электрическом поле спутника методом молекулярной динамики // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2014. Вып. 10. С. 47—52.
12. Шарамет А.А. Алгоритм и модель хранения данных при решении задачи взаимодействия спутника и плазмы методом молекулярной динамики с использованием технологии CUDA. // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2015. Вып. 4. С.114-120.
13. Шарамет А.А. Моделирование взаимодействия спутника и плазмы методом молекулярной динамики с использованием гетерогенных вычислительных систем на основе MPI, CUDA, C++11(thread) технологий. //Шестая международная молодежная научно-практическая школа «Высокопроизводительные вычисления на GRID системах», Архангельск, 9-14 февраля 2015г. Сборник статей. Издательство «КИРА». -с.54-58

# ЗАВИСИМОСТИ ПЕРИОДОВ «ВЕКОВОЙ» ГАРМОНИКИ ОТ ПРОТЯЖЕННОСТИ ИССЛЕДУЕМЫХ РЯДОВ ДЛЯ СТАРОЙ И НОВОЙ ВЕРСИЙ РЯДА ЧИСЕЛ ВОЛЬФА

**А.И. Шибяев**

*Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, механико-математический факультет, Москва, Россия  
alexshibaev@yandex.ru*

При переходе к новой версии ряда чисел Вольфа наиболее трансформировались амплитудные характеристики циклов достоверной части ряда, т.е. с 1849 г. Сравнение характеристик длиннопериодных компонент обеих версий ряда и их синус аппроксимация для достоверных частей рядов представлены в работе [1]. Отличие в оценке периодов «вековых» компонент ( $T_{old} = 149$  лет,  $T_{new} = 131$  год) приведет к различным прогнозам солнечной активности и связанных с ней явлениям.

Обычно при исследовании длиннопериодных циклов солнечной активности, в том числе и цикла Гляйсберга, опираются на ряд чисел Вольфа с 1749 года (иногда привлекают и годовые данные с 1700 г.), т.е. включая и восстановленную часть ряда. В работах, сделанных за последние 60 лет, период цикла Гляйсберга оценивается в пределах 80 -- 110 лет. Ряд исследователей выделяют конкретное значение периода цикла равное 88 годам [2]. Так как разные авторы анализировали ряд чисел Вольфа различной длины, то разумно исследовать зависимость периода аппроксимирующего синуса длиннопериодной компоненты ряда чисел Вольфа от длины самого ряда.

В данной работе рассматриваются ряды старой и новой версий ежемесячных чисел Вольфа с 1749 г., минимальная длина исследуемого фрагмента – восемнадцать циклов, максимальная – до максимума цикла 24. Получено, что при увеличении длины ряда возрастает период аппроксимирующего синуса и отмечены условия проявления 88-летней гармоник. Растущая (неустойчивая) оценка периода «вековой» гармоник затрудняет экстраполяцию её на внешний временной интервал.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шибяев А.И. Сопоставление характерных параметров солнечных циклов новой и старой версий рядов чисел Вольфа и динамика длиннопериодных компонент рядов // Труды XIV конференции молодых ученых - 2017, ИКИ РАН, Москва, 2017, с. 143-148.
2. Feynman J., Stephen B. Gabriel. Period and phase of the 88-year Solar cycle and the Maunder minimum: evidence for a chaotic Sun // Solar Physics, 1990, V. 127 (2). P. 393—403.

# СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АНОМАЛИЙ ГОРЯЧЕГО ПОТОКА У МАРСА

**С.Д. Шувалов<sup>1</sup>, О.Л. Вайсберг<sup>1</sup>, В.Н. Ермаков<sup>1</sup>, К.И. Ким<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук,  
Москва, Россия

*shuvalovsergei@gmail.com*

<sup>2</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**Научный руководитель: Вайсберг О.Л., д.ф.-м.н.**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук,  
Москва, Россия

Аномалия горячего потока (АГП) представляет собой область вдоль линии пересечения ударной волны и токового слоя, характеризующуюся низкой концентрацией и высокой температурой плазмы в центральной части, и высокими плотностью и температурой во внешней области. В этом горячем плазменном образовании выделяется так много энергии, что оно может двигаться навстречу потоку солнечного ветра.

Будучи достаточно хорошо изученными у Земли, эти явления практически не исследовались на других планетах. Первое возможное свидетельство наличия этих структур на Марсе было получено по наблюдениям на спутнике MGS в [Øieroset и др., 2001], однако, из-за отсутствия спектрометра ионов на космическом аппарате невозможно было сделать однозначный вывод о принадлежности обнаруженной структуры именно к АГП.

С конца 2014 года на орбите Марса впервые функционирует космический аппарат, оснащенный магнитометром и комплексом приборов измерения плазмы с высоким временным и угловым разрешениями MAVEN, что открывает возможность идентификации АГП на Марсе и подробному изучению их структуры и характеристик. На текущий момент имеется всего одна работа, посвященная наблюдению АГП на спутнике MAVEN, в которой проведен анализ характеристик одного события [Collinson и др., 2015].

Целью работы является составление каталога событий АГП с расчетом их характеристик за период работы спутника MAVEN (с ноября 2014 года по настоящее время), оценка частоты их возникновения и создание физически обоснованной классификации АГП у Марса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Øieroset, M., D. L. Mitchell, T. D. Phan, R. P. Lin, and M. H. Acuña (2001), Hot diamagnetic cavities upstream of the Martian bow shock, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 887–890.
2. Collinson, G., et al. (2015), A hot flow anomaly at Mars, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 9121–9127, doi:10.1002/2015GL065079.

# МОНИТОРИНГ РЕЧНЫХ И ЛАГУННЫХ ПЛЮМОВ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА

**М.С.Шеголихина**

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
факультет космических исследований, Москва, Россия  
mariya.shegolihina@yandex.ru*

**Научный руководитель: Лаврова Ольга Юрьевна, к.ф.-м.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), Москва, Россия*

Представлены результаты спутникового мониторинга плюма реки Кубань (Азовское море) и выноса пресных вод из Куршского залива в Балтийское море. Мониторинг основывался на данных видимого диапазона, полученных с помощью сенсоров OLI IC3 Landsat 8, ETM+ Landsat 7 и MSI IC3 Sentinel-2. Речные и лагунные воды резко различаются по своим оптическим свойствам от морских вод, особенно в период сильного паводка, что позволяет эффективно использовать цветосинтезированные спутниковые изображения для изучения плюмов. В период сильных паводков реки выносят большое количество взвешенного вещества, содержащего антропогенные загрязнения. Поэтому задача мониторинга распространения плюмов является актуальной и важной с экологической точки зрения. Обработка и анализ спутниковых изображений проводился с помощью информационной системы «See The Sea» (STS). Были проанализированы данные за 2016-2017 гг., полученные в районе устья реки Кубань и данные за 2015-2017гг, полученные в восточной части Балтийского моря в районе выноса из Куршского залива. Основными задачами являлись: определение площадей акваторий моря, занятых речным или лагунным плюмом, и выявление причин естественного или антропогенного характера, влияющих на распространение плюмов.

При проведении мониторинга плюма реки Кубань были проанализированы данные трех метеорологических станций, расположенных на реке, а именно: г. Темрюка, ст. Варениковской, г. Краснодара, содержащие информацию о наличии осадков непосредственно перед сильными проявлениями выносов, направлении и скорости ветра в день осадков и в дату выноса. Как показал проведенный анализ погодные условия (сильные осадки, сильный ветер восточных румбов) и максимальные площади выносов не сильно коррелируют, что говорит о том, что существуют иные причины усиления выноса. Был проведен анализ данных о сбросах, осуществляемых на Краснодарском водохранилище. Было получено, что существует устойчивая связь между сильными выносами и сбросами на водохранилище. Максимальные по площади плюмы наблюдались в акватории Азовского моря спустя 5-9 дней. Такой временной разброс может быть объяснен различной скоростью ветра вдоль реки Кубань.

При проведении мониторинга плюма вод Куршского залива определились площади выноса, анализировалось влияние ветра на его распространение и определялась сезонная зависимость его проявлений. Было выявлено, что резкая граница плюма проявляется и на спутниковых радиолокационных изображениях. Были зафиксированы случаи образования внутренних волн на границе плюма.

Работа выполняется при финансовой поддержке гранта РФФИ 17-05-00715.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1.Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий – М.:ИКИ РАН, 2016 – 335 с.480с.
- 2.Архив погоды в г. Темрюк, ст. Варениковской, г. Краснодар. Электронный ресурс. URL: <https://rp5.ru/> [дата обращения: 28.11.17]
- 3.Информационная система SEE THE SEA. Электронный ресурс. URL: <http://ocean.smislab.ru/>

# РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЛУНЫ: ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕРХНЕГО ПОКРОВА

**В.В. Юшков**

*ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Россия*

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

*iushkov.vv16@physics.msu.ru*

**Научный руководитель: Юшкова О.В., к.ф.-м.н.**

*ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия*

Изучение Луны и окололунного пространства - приоритетное направление космических программ многих стран. Исследование приповерхностного слоя грунта, разведка полезных ресурсов, особенно залежей льда, поиск подповерхностных пустот - основные задачи этого направления. Одним из возможных методов решения поставленных задач является радиолокационное подповерхностное зондирование, при этом наиболее быстро разведку обширных территорий можно провести с космического аппарата. Для проведения радиолокационных измерений необходимо наличие искусственного или естественного радиосигнала и приёмника для регистрации сигналов, отраженных от поверхности. Отношение интенсивности отраженного и исходного сигналов на соответствующих частотах называется коэффициентом отражения, который используется для определения глубинного распределения диэлектрической проницаемости грунта. Она зависит от частоты радиоволн, минералогического состава, плотности и пористости грунта, теплового режима на поверхности.

Для создания радиолокационной аппаратуры, прогноза результатов радиозондирования, адекватной интерпретации экспериментальных данных необходимо уметь моделировать процесс взаимодействия радиосигналов с грунтом, при этом модель грунта — ключевой пункт численного моделирования.

В докладе будет представлена электрофизическая модель лунного грунта. В качестве априорной информации для создания модели использованы результаты лабораторных измерений диэлектрических свойств образцов пород, доставленных миссиями «Apollo» и «Луна», протокольные записи этих миссий о строении и составе грунта (Heiken, 1991), глубинный профиль плотности верхнего слоя грунта толщиной 100 м (Olhoef, 1975), глубинный профиль изменения температуры грунта (Маров, 2007).

Работа выполнена при поддержке Программы №28 фундаментальных исследований Президиума Российской академии наук «Космос: исследование фундаментальных процессов и их взаимосвязей».



# УЧЁТ КОНЕЧНОЙ ШИРИНЫ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОНА В КОМПТОНОВСКОМ ПРОЦЕССЕ В ЗАМАГНИЧЕННОЙ СРЕДЕ

**А.А. Ярков, Д.А. Румянцев**

*Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова, Россия*

**Научный руководитель: Румянцев Д.А. к.ф.-м.н.**

*Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова, Россия*

Рассмотрен комптоновский процесс рассеяния фотонов на электронах замагниченной зарядово-симметричной плазмы. Показано, что в рассматриваемых условиях изменяются, по сравнению с незамагниченным вакуумом, поляризационные и дисперсионные свойства фотонов. В пределе относительно сильного поля исследовано влияние радиационных поправок к пропагатору электрона на возможность проявления резонанса на виртуальном электроне. Показано, что учёт радиационных поправок приводит и возникновению мнимой части в пропагаторе, связанной с конечной шириной поглощения электрона. В приближении сильного магнитного поля для кинематически разрешённых каналов получены вероятности поглощения фотона электроном в процессе  $e\gamma \rightarrow e\gamma$  в замагниченной среде с учётом конечной ширины резонанса на виртуальном электроне. Показано, что в случае узкого резонансного пика вероятность поглощения фотона существенно модифицируется по сравнению с нерезонансным случаем. Рассмотрены астрофизические приложения полученных результатов.