



XIV КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ КОСМОНАВТИКИ  
**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ  
КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**  
Москва 12-14 апреля 2017

**ТЕЗИСЫ**



**14-я Конференция молодых ученых  
“Фундаментальные и прикладные космические исследования”  
ИКИ РАН, Москва, 12-14 апреля 2017г.**

**Сборник тезисов  
Под ред. А.М. Садовского,**

Компьютерная верстка: *Кораблева Е.О.*

# НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНОВЫЕ СТРУКТУРЫ И ПЕРЕНОС ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРАХ ЗЕМЛИ И МАРСА

**Ю.Н. Извекова, С.И. Попель**

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, besedina\_yn@mail.ru*

*МФТИ, г. Долгопрудный, Россия*

Представлены результаты исследования нелинейных волновых структур и переноса пылевых частиц в атмосферах Земли и Марса. Предложен механизм переноса нано- и микромасштабных частиц из тропосферы в нижнюю стратосферу посредством вихрей синоптического масштаба, моделируемых солитонными решениями уравнения Чарни-Обухова (вихрями Россби) [1]. Построена непрерывно стратифицированная модель неадиабатической неизотермической земной атмосферы [2] с учетом тепловых потоков солнечного излучения, инфракрасного излучения атмосферы, тепловыделения при конденсации водяных паров и теплопроводности. Показано, что на определенных высотах существуют области в пространстве волновых чисел, где выполняются условия развития неустойчивости акустико-гравитационных волн. Построены дисперсионные поверхности и получены инкременты неустойчивости для высот до 130 км. Исследовано взаимодействие нелинейных акустико-гравитационных волн с пылевыми частицами метеорного происхождения на ионосферных высотах, приводящее к перемешиванию и перераспределению пылевых частиц по области существования вихрей. Рассматривается возможность формирования вертикальных и горизонтальных пылевых потоков в запыленной ионосферной плазме в результате модуляционной неустойчивости. Кроме того, моделируется динамика пылевых частиц в пылевых вихрях (Dust Devils) [3], которые часто возникают в условиях земной и марсианской атмосферы над хорошо прогретыми поверхностями. Вихревая структура подобного вихря такова, что пониженное давление в центре способствует поднятию мелких пылевых частиц с поверхности. На основе сформулированной модели проведены расчеты траекторий пылевых частиц в пылевых вихрях на Марсе и на Земле с учетом влияния электрического поля, генерируемого сталкивающимися пылевыми частицами в вихре. Исследована зависимость траекторий пылевых частиц в вихре от конфигурации электрического поля. Проведенные расчеты показывают, что пылевые вихри являются важным источником пыли в атмосферу Земли и Марса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беседина Ю.Н., Попель С.И. (2008). Циклонические вихри синоптического масштаба и возможность переноса мелкодисперсных частиц из тропосферы в стратосферу, Доклады Академии наук 423, 680–684
2. Izvekova, Yu. N., Popel, S. I., & Chen, B. B. (2015). Nonlinear acoustic-gravity waves and dust particle redistribution in earth's atmosphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 134, 41-46
3. Izvekova, Yu. N., & Popel, S. I. (2016). Charged Dust Motion in Dust Devils on Earth and Mars. *Contributions to Plasma Physics*, 56(3-4), 263-269

**ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

# НЕОДНОРОДНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ КАК ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИОННО-ЦИКЛОТРОННЫХ ВОЛН

**А.А. Ильясов, А.А. Чернышов, М.М. Могилевский**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия,  
ilyasov.askar@iki.rssi.ru*

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

Данная работа посвящена исследованию эволюции электромагнитных ионно-циклотронных волн на фоне неоднородного электрического поля и перпендикулярного ему однородного магнитного поля. Подобная конфигурация плазмы распространена в космической плазме, в частности, в авральной зоне Земли. Ранее в такой конфигурации фоновой плазмы изучались только электростатические волны в локальном приближении, то есть пренебрегали дисперсией волн. Для изучения нелокальной неустойчивости, приводящей к генерации электромагнитных волн вблизи гирочастоты ионов, проведено численное моделирование плазменных процессов. С целью получения наиболее полных результатов разработан вычислительный алгоритм, использующий метод частиц-в-ячейках. Этот метод позволяет учитывать различные кинетические эффекты и микромасштабные процессы в плазме за счет возможности непосредственного вычисления функции распределения частиц плазмы на всех этапах ее эволюции. В приложении к задачам авральной области магнитосферы и ионосферы Земли, метод частиц-в-ячейках позволяет моделировать кинетические неустойчивости (например, неустойчивость, вызванную неоднородным распределением плотности энергии) с учетом различных неоднородностей, такие как неоднородности электрического поля или сдвиги продольной скорости ионов. С помощью разработанного численного кода качественно исследован процесс ускорения ионов вдоль магнитного поля в присутствии неоднородностей электрического поля. Получен спектр неустойчивых электромагнитных ионно-циклотронных волн.

# ОБРАБОТКА СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

**Д.А. Козлов<sup>1</sup>, Д.В. Чурбанов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт  
(государственный университет), г. Долгопрудный, Россия

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

Работа с гетеродинными спектрометрами сверхвысокого разрешения требует не только глубокого знания физики, но и умения обработать полученные данные, построения моделей и новых способов решения прямых и обратных задач и т.д. Гетеродинная спектроскопия является предметом интенсивных исследований, имеет множество применений, например зондирование планет, дистанционный анализ состава атмосферы планет. Получение спектров сверхвысокого разрешения открывает новые возможности в этой области. Гетеродинные спектрометры существенно изменили область спектроскопии, позволили с большой точностью узнавать состав атмосферы, даже вычислять профиль ветра на высотах до 30 км.

Применение волоконной оптики позволило создать компактный переносной прибор со спектральным разрешением  $\lambda/\Delta\lambda \cdot 10^8$ , которое соответствует ширине полосы пропускания электрического сигнала. Подобное разрешение позволяет не только идентифицировать отдельные колебательно-вращательные спектры атмосферных газов, но и полностью разрешать профили линий поглощения, что в свою очередь делает возможным наряду с измерением средней концентрации по столбу восстановление высотного профиля составляющих атмосферы.

В основе расчетов лежит уравнение переноса излучения, учитывающая лишь поглощение в атмосфере [1]. Однако из-за некорректности поставленной задачи необходимо использовать регуляризацию. Наиболее эффективный метод решения такой задачи является метод регуляризации Тихонова. Он устойчив к погрешности экспериментальных данных [2].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. Теоретические основы атмосферной оптики. СПб.: Наука, 2003.
2. Леонов А.С., Решение некорректно поставленных обратных задач. Очерки теории, практические алгоритмы и демонстрации в МАТЛАБ. М.: УРСС, 2009.

# ГРАДИЕНТНО-ДРЕЙФОВАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ДЛИННОВОЛНОВЫХ МОД В НЕОДНОРОДНОЙ ЧАСТИЧНО ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЕ

**Н.А. Марусов**

*Московский физико-технический институт, г.Долгопрудный, Россия  
НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия, marusov\_NA@nrcki.ru*

Исследована неустойчивость плазмы с замагниченными электронами и незамагниченными ионами, характерная для плазменных установок с внешними скрещенными электрическими и магнитными полями, в частности, для электрореактивных плазменных двигателей холловского типа. Поперечный ток в плазме, обусловленный дрейфом электронов поперек магнитного поля, в комбинации с неоднородностями плотности плазмы и магнитного поля является источником *градиентно-дрейфовой неустойчивости* [1] в таких системах. В работах [2, 3] экспериментально и теоретически было установлено, что градиентно-дрейфовая неустойчивость может быть потенциальным источником флуктуаций и аномальной проводимости плазмы в стационарных плазменных двигателях.

В настоящей работе проведен теоретический анализ линейной устойчивости электростатических колебаний неоднородной частично замагниченной плазмы, распространяющихся поперёк магнитного поля. Используется двухжидкостная гидродинамическая модель плазмы с холодными ионами. При этом в уравнении движения электронов учитываются эффекты инерции, электронного давления и гировязкости. Получено общее дисперсионное уравнение возмущений с учетом эффектов конечного ларморовского радиуса электронов. Для азимутальных мод проведен его детальный анализ в широком диапазоне равновесных параметров плазмы. Аналитически получен критерий устойчивости рассматриваемых возмущений, рассчитаны частоты и инкременты неустойчивых колебаний. Показано, что вблизи порога устойчивости в определенном диапазоне параметров плазмы неустойчивыми оказываются только низкочастотные длинноволновые моды, в то время как высокочастотные колебания стабилизируются эффектами конечного ларморовского радиуса электронов. С этой неустойчивостью может быть связано формирование низкочастотных когерентных структур типа спиц, наблюдаемых в экспериментах с холловской плазмой [2]

## ЛИТЕРАТУРА

1. Михайловский А.Б., Теория плазменных неустойчивостей. Т.2. Неустойчивости неоднородной плазмы – М.: Атомиздат, 1971. 312 с.
2. Морозов А.И., Ю.В. Есипчук, А.М. Капулкин, В.А. Невровский, В.А. Смирнов, Журнал Технической Физики, 1972, Том XLII, №3.
3. Есипчук Ю.В., Г.Н. Тилинин, Журнал Технической Физики, 1976, Том XLVI, №4.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА НА СОЛНЕЧНО-СИНХРОННОЙ ОРБИТЕ

**С.С. Ефимов**

*Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Россия,  
efimov.ss@phystech.edu*

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

*Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, г. Москва,  
Россия*

Проблема космического мусора в последнее время становится всё более актуальной, поскольку постоянно растущее число объектов в околоземном пространстве представляет серьёзную опасность для будущих космических миссий. Уже известны случаи столкновения объектов. Наиболее значимым происшествием является столкновение спутников Iridium 33 и Космос-2251 в 2009 году. Инцидент привел к появлению около 1000 крупных осколков. Проблема вызвала активное обсуждение миссий по удалению наиболее крупных объектов мусора с орбиты в целях уменьшения вероятности столкновений в будущем. Большая часть предлагаемых методов предполагает увод с орбиты специальным космическим аппаратом, захватывающим объекты непосредственно при помощи манипулятора, либо использующего гарпуны или сети. Все эти методы имеют сложности с захватом быстро вращающихся объектов.

Данная работа посвящена моделированию вращательного движения крупных объектов космического мусора с целью выявления общих закономерностей в его эволюции. Для рассмотрения выбраны солнечно-синхронные орбиты (ССО), поскольку ситуация на них особенно опасна из-за большой плотности объектов, имеющих при этом в отличие от геостационарной орбиты большие относительные скорости. В модели учтены такие факторы как гравитационный момент, остатки топлива в ступенях ракет-носителей и вихревые токи в проводящих элементах, наводимые магнитным полем Земли.

Показано, что наличие даже небольшого количества остаточного топлива, за небольшое время (порядка одного месяца) переводит произвольное начальное вращение ступеней ракет-носителей во вращение вокруг оси с наибольшим моментом инерции. Дальнейшая эволюция вращательного движения характеризуется, в первую очередь, экспоненциальным затуханием угловой скорости, заканчивающимся переходом тела в состояние гравитационной ориентации за времена порядка 5–10 лет. На промежуточной стадии эволюции вектор кинетического момента объектов сближается с плоскостью оскулирующей орбиты и совершает колебания относительно направления на южный полюс мира.



# РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УПРАВЛЯЮЩИХ УСИЛИЙ ОТ ГАЗОВЫХ РУЛЕЙ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

**А.Г. Тимаров<sup>1,2</sup>, А.Н. Ефремов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Публичное акционерное общество «Научно-производственное объединение «Искра», г. Пермь, Россия

<sup>2</sup>Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, г. Пермь, Россия, TAG703@iskra.perm.ru, timarov.perm@gmail.com

**Научный руководитель: Р.В. Бульбович, д.т.н.**

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, г. Пермь, Россия

Использование газовых рулей (ГР) в качестве системы управления вектором тяги (СУВТ) при работе ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ) обусловлено целым рядом причин. Являясь наиболее простым устройством из всего многообразия СУВТ, они обеспечивают управление по всем трем каналам вращения. Весьма часто, они используются в комбинации с аэродинамическими органами управления, т.к. за счет единого рулевого привода обеспечивают требуемую траекторию полета на начальном участке движения до тех пор, пока аэродинамическое управление не станет возможным.

К числу проблемных вопросов при проектировании ГР относятся детальное определение силовых характеристик и прогнозирование изменения геометрии ГР вследствие эрозионного уноса. Использование современных комплексов вычислительной гидродинамики позволяет, помимо визуализации сложной картины течения при функционировании ГР, с требуемой точностью определять все необходимые рабочие параметры системы.

В настоящей работе проведено численное моделирование по определению управляющих усилий (УУ), создаваемых ГР. Также даны рекомендации по выбору необходимой постановки численного эксперимента. При решении задачи рассматривалось несколько расчетных моделей:

- сектор  $90^\circ$  и трехмерная модель без учета влияния камеры сгорания (КС);
- полностью трехмерная модель с учетом КС.

Помимо этого подробно рассмотрен конечный этап работы РДТТ, когда профиль пера частично унесен вследствие эрозионного воздействия продуктов сгорания твердого топлива.

Для проверки достоверности полученных результатов расчета был проведен сравнительный анализ с имеющимися экспериментальными данными, полученными при проведении огневых стендовых испытаний. Это позволило сделать вывод, что точность разработанной расчетной методики по определению УУ выше, чем разброс экспериментальных данных по среднеквадратичному отклонению.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХОЛОДНОГО ПЛОТНОГО МЕЖЗВЕЗДНОГО ОБЛАКА И ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ В МГД-ПРИБЛИЖЕНИИ

**Н.Д. Быховский<sup>1</sup>, В.В. Измоденов<sup>1,2,3</sup>**

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

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

<sup>3</sup>Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва, Россия

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

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

Для понимания разнообразных явлений во Вселенной, известных по астрономическим наблюдениям, требуются качественные физические модели. Одним из таких явлений, требующих рассмотрения, является долгое «время жизни» холодных облаков – областей, заполненных холодным плотным атомарным водородом и окруженных горячей межзвездной плазмой. Процессы, протекающие на границе этих двух сред, могут быть источником наблюдаемого рентгеновского излучения.

В данной работе рассматривается двухкомпонентная модель взаимодействия холодного облака и плазмы. Обе компоненты считаются идеальными совершенными нетеплопроводными газами. Обмен импульсом и энергией между ними происходит за счет процесса перезарядки – обмена электроном при столкновении протона и атома водорода. Учтено воздействие внешнего магнитного поля на плазму. Так, движение плазмы описывается в рамках идеальной магнитогидродинамики, в то время как для атомов водорода записываются уравнения Эйлера.

В безразмерной постановке решение зависит от трех безразмерных параметров. В работе представлено качественное описание структуры переходной области между холодным облаком и плазмой, показано, что магнитное поле существенно изменяет структуру переходной области между холодным облаком и плазмой, дано качественное описание для различных случаев.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ВЗВОЛНОВАННОЙ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ

**Д.С. Сазонов**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), г.Москва, Россия, sazonov\_33m7@mail.ru*

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

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

Дистанционное зондирование поверхности океана с борта самолета или спутника неоспоримо является одним из наиболее эффективных способов наблюдения и исследования процессов и закономерностей, происходящих в нем. Огромный потенциал дистанционного зондирования в определении физических параметров системы океан-атмосфера, привел к большому количеству исследований в данной области, проведению натурных измерений и моделированию физических процессов. Радиометрические измерения применяются для определения температуры поверхности океана, вектора ветра, измерений солености, профилирования атмосферы, исследований стихийных бедствий (к сожалению постфактум).

До сих пор ведутся работы по установлению взаимно-однозначной связи между измеренным излучением поверхности в микроволновом диапазоне и физическими параметрами водной и воздушной сред. К настоящему времени разработано некоторое число моделей, позволяющих рассчитать восходящее излучение поверхности океана, используя либо спектр морского волнения, либо набор аппроксимирующих функций. Однако результаты таких расчетов расходятся между собой и, как показано в работе (Сазонов и др., 2016), недостаточно адекватно описывают угловую зависимость восходящего излучения, полученную экспериментально.

В настоящей работе представлена функциональная зависимость собственного радиотеплового излучения взволнованной водной поверхности для частоты 37,5 ГГц. Расчеты основаны на натурных измерениях, выполненных на океанографической платформе Черноморского гидрофизического полигона РАН (ЧГПРАН) вблизи пос. Качивели в 2005, 2007 и 2009 годах. В качестве входных данных использовались радиационно-ветровые зависимости собственного радиотеплового излучения взволнованной водной поверхности, исследование которых проведено в работе (Сазонов и др., 2016). Представляемая модельная функция предназначена для расчета радиационно-ветровых зависимостей и радиояркостных контрастов. Необходимыми параметрами для расчета являются: вертикальный угол наблюдения, скорость ветра и температура воды.

Представляемая в работе функция выполнена как аппроксимация экспериментально полученных данных. Аппроксимация выполнена в три этапа с использованием полиномов. Модельная функция описывает излучение поверхности в диапазоне температур, скоростей ветра и вертикальных углов наблюдения, зарегистрированных в эксперименте. То есть температуры воды 13 - 25 С, скорость ветра 2 - 12 м/с и вертикальные углы наблюдения 30 - 80 градусов от надира.

Основным результатом работы является сравнение предлагаемой функциональной зависимости с модельными расчетами собственного излучения взволнованной водной поверхности.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-02-00839\_a и №15-05-08401\_a.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сазонов Д.С., Кузьмин А.В., Садовский И.Н. Экспериментальные исследования зависимости интенсивности радиотеплового излучения взволнованной морской поверхности от скорости приводного ветра. // Исследование Земли из космоса, 2016. №1-2. С. 25-34.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ В ГАЛАКТИЧЕСКОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

**К.Ю. Малышев, Е.А. Михайлов**

*МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, г. Москва, Россия,  
kmalyshev08102@mail.ru*

В настоящее время хорошо известно, что в межзвездной среде присутствует большое количество пыли. Со временем часть пыли выносится за пределы галактики. Одним из возможных механизмов ее выметания за пределы галактического диска является воздействие на заряженные частицы пыли галактического магнитного поля [Мишуров и др., 2014].

Существенной особенностью галактических магнитных полей является то, что магнитное поле галактик состоит из двух компонент: случайной, характерный масштаб изменения которой составляет величины порядка 50 - 100 пк, и регулярной, плавно меняющейся по всему галактическому диску. Эти две составляющие имеют один порядок величины, поэтому при рассмотрении действия поля на пылинки необходимо учитывать и ту, и другую.

В качестве модели для магнитного поля мы используем результаты полученные в рамках теории галактического динамо с использованием планарного приближения [Moss, 1995; Phillips, 2001]. В рамках данной модели считается, что галактический диск достаточно тонкий, поэтому крупномасштабная составляющая магнитного поля параллельна экваториальной плоскости. Кроме этого было важно учесть то, что по мере удаления от центра галактики магнитное поле убывает по определенному закону [Mikhailov et al, 2014].

Предполагалось, что частицы двигались под действием силы Лоренца, связанной с галактическим магнитным полем, гравитационных сил, кроме этого учитывалось сопротивление со стороны межзвездной среды. Для решения данной задачи была составлена частично неявная численная схема. Предполагалось, что в начальный момент частицы располагались во внутренних областях галактики и имели скорости, направления которых относительно окружающей межзвездной среды являлись случайными. Для реализации данного эффекта использовался генератор случайных чисел, встроенный в среду программирования C++ Builder. Были вычислены средние решения для различных модулей начальной скорости.

Было показано, что частицы пыли могут выноситься за пределы галактического диска как в вертикальном, так и в радиальном направлении. Оценено типичное время выметания пылинок из галактики для различных величин начальных скоростей. Показано, что для скоростей порядка нескольких км/с значительная часть пылинок покидает галактический диск за времена, меньшие 1 млрд. лет.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мишуров Ю.Н., И.А.Ачарова, М.Г.Шевченко, Д.А.Тышлангов. Выметание пыли из спиральной галактики вследствие эффекта "магнитной пращи" // *Астрофиз. бюлл.* — 2014. — том 69. — №1. — с. 22-27.
2. Mikhailov E., A. Kasparova, D. Moss, R.Beck, D.Sokoloff, A.Zasov. Magnetic fields near the peripheries of galactic discs // *Astron. Astrophys.* — 2014. — Vol. 568. — P. A66.
3. Moss D.. On the generation of bisymmetric magnetic field structures in spiral galaxies by tidal interactions. // *Mon. Not. R. Astr. Soc.* — 1995 — Vol. 275. — PP. 191 – 194.
4. Phillips A.. A comparison of the asymptotic and no-z approximations for galactic dynamos // *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.* — 2001. — Vol. 94. — no. 1. — PP.135 – 150.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ ПОГЛОЩАЮЩИМ СФЕРИЧЕСКИМ ТЕЛОМ

**В.Л. Красовский<sup>1</sup>, А.А. Киселёв<sup>1</sup>, М.С. Долгоносов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия,  
[alexander.kiselyov@stonehenge-3.net.ru](mailto:alexander.kiselyov@stonehenge-3.net.ru)

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

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

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

Изучение возмущения бесстолкновительной плазмы вокруг поглощающего тела сферической формы является известной, но не до конца исследованной задачей, важной для теории пылевой плазмы. В течение длительного времени оставался открытым вопрос об определении функции распределения захваченных частиц плазмы, т. е. движущихся по финитным орбитам вокруг сферического поглощающего заряд тела, для случая разреженной космической плазмы, что являлось главным препятствием на пути последовательного анализа состояния равновесия возмущенной плазмы.

Функцию распределения захваченных частиц можно найти, решая задачу с начальными условиями, описываемую системой уравнений Власова-Пуассона для электронов и ионов. Пусть в некоторый момент времени в бесстолкновительной плазме возникает поглощающее заряд тело сферической формы. Целью работы является наблюдение динамики плазмы и процесса приобретения заряда сферой вплоть до асимптотического состояния устойчивого равновесия. Начальные и граничные условия заданы в виде невозмущенных функций распределения электронов и ионов плазмы, которые полагаются моноэнергетическими.

Наиболее значительными препятствиями для самосогласованного аналитического решения являются существенная нелинейность задачи, а также образование сгустка захваченных частиц в окрестности сферы, когда ее радиус сравним с эффективной дебаевской длиной. Поэтому для решения задачи использовалось численное моделирование методом "частиц-в-ячейке", успешно применяемым в сильно нелинейных плазменных задачах. Учет сферической симметрии задачи и использование канонической формы уравнений движения частиц плазмы позволили значительно упростить выкладки и ускорить расчет. Для оценки вклада захваченных ионов в экранировку сферы была введена величина относительного заряда захваченных частиц.

В ходе проведенного моделирования были получены пространственно-временные характеристики электрического поля в плазме при переходе системы к состоянию равновесия. При этом наблюдался процесс образования сгустка захваченных частиц вблизи сферы. Кроме того, было проведено значительное количество расчетов в широком диапазоне физических параметров системы. Были определены зависимости величины относительного заряда и асимптотического заряда сферы от параметров системы.

# ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВЫСОКОСКОРОСТНОГО УДАРА ДВУХ УДАРНИКОВ, ЛЕТАЮЩИХ СЛЕД В СЛЕД

**А.Ф. Нечунаев<sup>1</sup>, С.А. Поняев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*ФТИ им. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия*

В связи с увеличивающимся в геометрической прогрессии объемом космического мусора в околоземном пространстве [1,2] (отработанные ступени ракет, отработавшие спутники, обломки, оставшиеся от случайных столкновений) все более актуальным становится вопрос о защите космического аппарата от ударов микрочастиц. В математическом плане такая задача сводится к описанию процесса внедрения маленькой частицы в одно-, двух-, или многослойную обшивку космического аппарата, но следует отметить, что процесс внедрения - высоконелинейный процесс. В результате математического моделирования можно получить новые геометрические формы преграды (защиты космического аппарата), позволяющие наиболее эффективно поглощать энергию удара, рекомендации для проектировщиков космических аппаратов.

Получение данных о форме облака осколков, их энергетике, после прохождения первой преграды (в случае двух и многослойных преград) представляет большую научную ценность. Но для проведения адекватных численных расчетов необходима их верификация по уже существующим экспериментам. К сожалению, проведение натуральных экспериментов сопряжено с большими материальными затратами (эксплуатация одной газовой пушки, предназначенной для разгона металлических шариков до скоростей 5-11 км/с сопровождается многомиллионными финансовыми затратами). В последнее время [3] стало возможно проводить сравнительно недорогие натурные эксперименты с использованием электромагнитного рельсового ускорителя (рельсотрона), с помощью которого можно разгонять тела мг массы до скоростей 5-7 км/с, в том числе стало возможно изучать не только одиночные столкновения, но и групповые, когда происходит столкновение с преградой нескольких частиц, движущихся по одной или близким траекториям, при очень малом интервале между ними.

В настоящей работе проводится численное моделирование высокоскоростного удара двух, следующих друг за другом тел по преграде. Данная задача важна с точки зрения группового удара, так как вторая частица взаимодействует с преградой, уже поврежденной первой, поэтому динамика формирования облака осколков и кратерообразования значительно отличается от одиночного удара. В докладе будут представлены результаты расчетов удара по пластинам разной толщины, и будет продемонстрирована динамика пробития преграды и взаимодействия облака осколков со второй частицей (для тонкой преграды), и взаимодействия второй частицы с поврежденной преградой в результате первого столкновения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Schonberg W., Protecting earth-orbiting spacecraft against micro-meteoroid/orbital debris impact damage using composite structural systems and materials: An overview, *Advances in Space Research* 15 (6) (2010) 709-720. doi:10.1016/j.asr.2009.11.014 .
2. Adushkin V., S. Veniaminov, S. Kozlov, M. Silnikov, Orbital missions safety – A survey of kinetic hazards, *Acta Astronautica* 126 (2016), 510-516. doi:10.1016/j.actaastro.2015.12.053 .
3. Poniaev S.A., S.V. Bobashev, B.G. Zhukov, R.O. Kurakin, A.I. Sedov, S.N. Izotov, S.L. Kulakov, M.N. Smirnov, Small-size railgun of mm-size solid bodies for hypervelocity material testing, *Acta Astronautica*, 109 (2015), 162–165.

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

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

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

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

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

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

Работа посвящена изучению двумерной магнитно-гидродинамической турбулентности в космической и астрофизической плазме в приближении бета-плоскости. Используется уравнение эволюции потенциальной завихренности и уравнение эволюции магнитного потенциала, полученные из классической системы уравнений магнитной гидродинамики. Такая система уравнений описывает явления солнечного тахоклина, проводящего слоя на поверхности внешнего ядра Земли и стратифицированной проводящей жидкости внутри нейтронных звезд.

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 отсутствие магнитного поля и силы Кориолиса показано образование когерентных структур (вихрей) и явление обратного каскада энергии в двумерной гидродинамике. При наличии силы Кориолиса в приближении бета-плоскости показано образование зональных течений.

# ТЕПЛОВАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ТОКОВОГО СЛОЯ КАК ТРИГГЕР СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

**Л.С. Леденцов, Б.В. Сомов**

*ГАИШ МГУ, г.Москва, Россия, koob@mail.ru*

В приближении диссипативной магнитной гидродинамики исследована устойчивость малых возмущений пересоединяющего токового слоя в плазме с сильным магнитным полем. Рассмотрен случай, когда волновой вектор возмущений параллелен электрическому току в слое. Показано, что причиной неустойчивости служит подавление теплопроводности плазмы возмущением магнитного поля внутри слоя. На линейной стадии развития неустойчивости возмущения нарастают с характерным временем лучистого охлаждения плазмы, которое рассчитано в приближении оптически прозрачной плазмы с космическим обилием элементов. На нелинейной стадии неустойчивости в токовом слое следует ожидать формирование периодической структуры холодных и горячих трубок магнитного потока, “волокон”, расположенных поперек направления тока. Предлагаемый механизм тепловой неустойчивости токового слоя может объяснять последовательное увеличение яркости, “поджиг”, в аркадах магнитных петель в солнечных вспышках.



# НЕЛИНЕЙНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛН РОССБИ 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), г.Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт

(государственный университет), г. Долгопрудный, Россия

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

ФГБУН Институт космических исследований

Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия

Поведение различных звезд и планет описывается магнитной гидродинамикой вращающихся тонких слоев плазмы со свободной границей в поле силы тяжести. Например, течения солнечного тахоклана (тонкого слоя внутри Солнца, находящегося над конвективной зоной), динамика атмосфер нейтронных звезд, течения аккрецирующей материи в нейтронных звездах, захваченные приливами экзопланеты с магнитоактивными атмосферами. Для описания таких течений астрофизической плазмы используется магнитогидродинамическое приближение мелкой воды. Настоящая работа посвящена изучению слабонелинейных волновых взаимодействий в магнитогидродинамическом приближении мелкой воды при наличии вращения. Эффекты, вызванные различием в угловой скорости вращения, описываются введением приближения бета-плоскости, в котором угловая скорость линейно зависит от широты.

Магнитогидродинамические уравнения мелкой воды получаются из классических уравнений магнитной гидродинамики несжимаемой плазмы осреднением по глубине в предположении гидростатичности распределения давления и малости толщины слоя по отношению к характерному горизонтальному линейному размеру задачи. Полученная система играет такую же важную роль в космической и астрофизической плазме, как и классические уравнения мелкой воды в гидродинамике нейтральной жидкости. В работе эта система модернизирована для описания течений с внешним вертикальным магнитным полем. Вертикальная динамика магнитогидродинамических течений в приближении мелкой воды с внешним вертикальным магнитным полем значительно отличается от случая без вертикального магнитного поля. Горизонтальное магнитное поле соленоидально для случая течений без внешнего магнитного поля, в присутствии же внешнего вертикального магнитного поля это не так. 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 трехмерным и каждая из его компонент зависит только от горизонтальных координат.

В работе рассматриваются течения во внешнем вертикальном магнитном поле и течения при наличии горизонтального магнитного поля. Для линейной задачи приведены дисперсионные соотношения для волн Россби в обоих случаях. Основной механизм образования волн Россби заключается в сдвиге вращающегося потока вследствие того, что сила Кориолиса изменяется в зависимости от широты. Качественный анализ дисперсионных кривых показывает наличие трехволновых нелинейных взаимодействий магнитных волн Россби в обоих случаях: 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 в вертикальном внешнем магнитном поле и трехволновые взаимодействия волн в горизонтальном магнитном поле. Анализ полученных нелинейных уравнений показал существование двух типов неустойчивостей: распадные неустойчивости и параметрическое усиление волн для каждого из рассматриваемых случаев. Найдены инкременты неустойчивостей и коэффициенты параметрического усиления для соответствующих процессов.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ В ПРИБЛИЖЕНИИ ХОЛЛОВСКОЙ МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ МЕТОДОМ БЫСТРЫХ ИСКАЖЕНИЙ

**С.И. Сафонов<sup>1</sup>, А.С. Петросян<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований

Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, [safons25@gmail.com](mailto:safons25@gmail.com)

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт

(государственный университет), г.Долгопрудный, Московская область, Россия

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

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия, [safons25@gmail.com](mailto:safons25@gmail.com)

Проводится теоретическое исследование статистических характеристик турбулентного течения астрофизической плазмы в приближении магнитной гидродинамики и холловской магнитной гидродинамики методом быстрых искажений. Теория быстрых искажений турбулентности является методом линейного анализа турбулентных течений, изменяющихся под действием крупномасштабных градиентов скорости потока, магнитного поля, массовых сил. Основное предположение теории состоит в том, что турбулентность реагирует на некоторый внешний эффект настолько быстро, что нелинейные эффекты, не приводят к изменениям статистических характеристик поля скорости и магнитного поля. Таким образом, предполагается, что реакция на этот внешний эффект происходит в интервале времени малом по сравнению со временем вырождения турбулентности. Это позволяет линеаризовать задачу и записать замкнутые уравнения для вторых статистических моментов турбулентного течения. В работе теория быстрых искажений применяется для несжимаемых однородных турбулентных течений плазмы в приближении магнитной гидродинамики и холловской магнитной гидродинамики при наличии внешнего магнитного поля и крупномасштабного сдвига скорости. На рассматриваемых временах нелинейными членами в получаемых уравнениях для флуктуаций скорости и магнитного поля можно пренебречь, оставив только слагаемые, описывающие воздействие среднего поля на флуктуации. В силу однородности турбулентности флуктуации магнитного поля, поля скорости и давления можно представить их преобразованиями Фурье. Получена замкнутая система уравнений, позволяющая по известным начальным условиям рассчитать значения флуктуаций поля скорости и магнитного поля в любой точке пространства для любого момента времени в модели холловской магнитной гидродинамики и в квазистатическом приближении холловской магнитной гидродинамики. Получены динамические соотношения для вторых моментов турбулентности в магнитной гидродинамике, холловской магнитной гидродинамике и в квазистатическом приближении холловской магнитной гидродинамики. Получены динамические уравнения для спектров кинетической и магнитной энергии, а также спектров гидродинамической, перекрестной и токовой спиральности. Показано влияние эффекта Холла на энергетические и топологические характеристики турбулентности в диссипативном интервале.

# ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПОГРАНИЧНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЯХ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ

**А.В. Дунько<sup>1,3</sup>, Х.В. Малова<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований

Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, slam-dunko@mail.ru

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, г. Москва,

Россия

<sup>3</sup>Московский физико-технический институт

(Государственный университет), г. Долгопрудный, Россия

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

ФГБУН Институт космических исследований

Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, г. Москва,

Россия

Пожалуй, самым масштабным токовым слоем солнечной системы является гелиосферный токовый слой (ГТС), который формируется вокруг Солнца в виде тонкого (толщиной 1-2 радиуса Солнца и меньше), проводящего диска со спирально текущим током. В ГТС происходят разнообразные динамические процессы, такие как магнитное пересоединение, плазменная турбулентность, движение магнитных трубок и потоков плазмы. Высокоэнергичная плазма - солнечные космические лучи - приходят в ГТС в результате процессов ускорения в околосолнечном пространстве и могут взаимодействовать с гелиосферным токовым слоем, меняя его структуру и свойства. В свою очередь, состояние ГТС может оказывать влияние на плазменные процессы в земной магнитосфере, воздействуя на космическую погоду.

Целью данной работы является исследование влияния высокоэнергичных частиц (солнечных космических лучей – СКЛ) на структуру гелиосферного токового слоя.

С помощью численных кодов, построена модель гелиосферного токового слоя, поддерживаемого фоновой плазмой солнечного ветра. Исследуется динамика низко- и высокоэнергичных частиц при прохождении токового слоя, проводится построение профилей плотности тока и плазмы для различных значений  $u$ - и  $z$ -компонент магнитного поля и энергий СКЛ.

Проведено исследование взаимодействия высокоэнергичных частиц СКЛ с ГТС, образованным плазмой солнечного ветра. На основании полученных результатов сделаны выводы о характере влияния высокоэнергичных частиц в широком диапазоне энергий и концентраций на профили плотности плазмы и плотности тока ГТС, поддерживаемого фоновыми низкоэнергичными частицами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Малова Х.В. Моделирование токового слоя в плазме на основе нелинейной динамики заряженных частиц с. 52-76.
2. Зелёный Л. М., Х. В. Малова, А. В. Артемьев и др. Тонкие токовые слои в бесстокнательной плазме: равновесная структура, плазменные неустойчивости и ускорение частиц.

# ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ДИНАМИКЕ ИОНОВ В ЗАМКНУТЫХ МАГНИТОПЛАЗМЕННЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ С ШИРОМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

**А.Ю. Мальхин<sup>1</sup>, Е.Е. Григоренко<sup>1</sup>, Х.В. Малова<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия,  
anmaurdreg@gmail.com

<sup>2</sup>НИИЯФ им. Скобелева МГУ, г. Москва, Россия

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

Многочисленные спутниковые наблюдения показали, что в хвосте магнитосферы Земли довольно часто наблюдаются замкнутые магнитоплазменные конфигурации типа плазмоидов и магнитных островов с ненулевой компонентой  $B_y$ . Целью данной работы является изучение кинетических особенностей динамики неадиабатических ионов в токовом слое (ТС) внутри плазмоида, и их влияния на распределение плотности и функцию распределения в макроскопических. Для этого были исследованы траектории тестовых с массой соответствующей протону ( $H^+$ ) в заданной магнитной конфигурации с единичным стационарным плазмоидом, находящимся с хвостовой стороны от ближней магнитной X-линии. В работе использовалась модель обращённого магнитного поля, на невозмущённую конфигурацию которого ( $B_x(z)$ ,  $B_y=0$ ,  $B_z=\text{const}$ ) накладывалась  $B_z(x)$ -вариация, обеспечивающая нам плазмоидоподобную конфигурацию, в которой  $B_y(x,z)$  задаётся колоколообразным профилем (максимальное значение поля  $B_y(x,z)$  соответствует  $8nT$ ). Также везде в системе присутствовало постоянное и однородное электрическое поле утро-вечер ( $E_y=0.1$  мВ/м). В описанной конфигурации запускались тестовые частицы с харрисовским распределением плотности в пространстве и каппа-распределением по энергии с изотропной функцией распределения по скоростям. Было показано что в плазмоиде с ненулевой  $B_y$  – компонентой, пространственное распределение плотности ассиметрично, возникает кольцевой ток  $J_x$ - $J_z$ , циркуляция которого может поддерживать поле  $B_y$ , получена конечная функция распределения. Результаты данной работы согласуются с ранее полученными результатами по миссии Cluster. Данный результат является основой для дальнейшего изучения взаимодействия ионов с наблюдаемыми в плазмоидах электромагнитными флуктуациями.

Работа выполнена при поддержке российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ №16-52-16009; РФФИ № 16-02-00479; РФФИ № 16-32-00721).

# РЕЗОНАНСЫ В КОМПТОНОПОДОБНЫХ ПРОЦЕССАХ РАССЕЯНИЯ ВО ВНЕШНЕЙ ЗАМАГНИЧЕННОЙ СРЕДЕ

**Д.М. Шленев**<sup>1,2</sup>, Д.А. Румянцев<sup>1</sup>, А.А Ярков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова,  
г. Ярославль, Россия, [allen\\_caleb@rambler.ru](mailto:allen_caleb@rambler.ru)

<sup>2</sup>Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны,  
г. Ярославль, Россия

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

Доцент кафедры теоретической физики ЯрГУ им. П.Г. Демидова,  
г. Ярославль, Россия

Рассмотрены возможные резонансные эффекты в древесных двухвершинных амплитудах для переходов  $j_f \rightarrow j'_f$  в постоянном однородном магнитном поле произвольной напряжённости и в присутствии заряженной фермионной плазмы для различных комбинаций вершин скалярного, псевдоскалярного, векторного и аксиально-векторного типов. В качестве приложения полученных результатов исследован процесс рассеяния фотона на электронах замагниченной плазмы в области резонанса и вычислен коэффициент поглощения фотона в этой реакции. Получено сечение данного процесса и проведено его сравнение с имеющимися в литературе результатами.

# МГД-МОДЕЛЬ КОНИЧЕСКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ В ГЕЛИОСФЕРЕ

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

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований

Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, kr-rk@bk.ru

<sup>2</sup>ИЗМИРАН, г. Троицк, Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Отдел излучений

и вычислительных методов, г. Москва, Россия

Построена аналитическая МГД - модель квазистационарного конусообразного токового слоя, который был обнаружен по данным Ulysses над южным полюсом Солнца. В рамках модели удаётся описать основные черты наблюдаемой структуры: резкое увеличение по сравнению с окружающим солнечным ветром магнитного поля, концентрации плазмы, электрического поля, температуры, а также провала в величине скорости солнечного ветра и плазменного бета. Распределения плазменных величин в рамках модели соответствуют локальному пику плотности на фоне корональной дыры. Физической границей токового слоя является альвеновская поверхность, определяемая из равенства альвеновской и азимутальной скоростей плазмы. Примечательно, что данная альвеновская поверхность имеет вытянутую над полюсом форму и существует даже на расстоянии более одной AU, что подтверждается наблюдениями Ulysses. Происхождение данной токовой структуры является ещё не решённой проблемой, однако из наблюдений известно, что токовый слой является долгоживущим, наблюдался в различные годы, и схожая "магнитная труба" меньших размеров была обнаружена одновременно с токовым слоем в солнечной короне.

# КОНВЕКЦИОННЫЙ НАГРЕВ ЭЛЕКТРОНОВ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ: РОЛЬ ПОЛЯ $B_y$

**А.В. Артемьев, А.С. Лукин**

*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия,  
as.lukin.phys@gmail.com*

В докладе рассматривается процесс нагрева холодных электронов электрическим полем утро-вечер в ходе конвекции из дальнего хвоста к Земле. Исследование посвящено роли поля  $B_y$  в распределении энергии, набираемой электронами, между продольной (вдоль внешнего магнитного поля) и поперечной (поперёк внешнего магнитного поля) степенями свободы. В качестве базовой конфигурации магнитного поля выбрана конфигурация токового слоя хвостовой области магнитосферы. Для расчёта траектории большого ансамбля электронов, движущиеся на временах конвекции плазмы из дальнего хвоста к Земле (десятки минут для усиленной конвекции и несколько часов для спокойных геомагнитных условий) используется приближение ведущего центра с уравнениями, записанными в гамильтоновой форме. Проведена проверка диапазона параметров системы, для которых приближение ведущего центра хорошо описывает динамику электронов. Выполнены расчёты эволюции функции распределения электронов при конвекции в геометрии хвоста магнитосферы с  $B_y = 0$  и с  $B_y \neq 0$ . Результаты численных расчётов сопоставлены с известными данными спутниковых наблюдений функции распределения электронов.

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

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

**Научный руководитель: Б.В. Сомов, д.ф.-м.н.**  
*ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия*

В приближении сильного магнитного поля исследуется модель магнитного пересоединения в плазме высокой проводимости в короне Солнца, включающая в себя 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. Полученные результаты могут быть полезны для объяснения наличия "сверхгорячей" (с эффективной электронной температурой более 10 кэВ) плазмы в солнечных вспышках [3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Somov B.V. Plasma Astrophysics. N.-Y.: Springer, 2013.
2. Безродных С.И., В.И.Власов, Б.В.Сомов. Обобщённые аналитические модели токового слоя Сыроватского //Письма в астрон. журн. 2011. Т. 37, № 2. С. 133-150.
3. Sui L., G. D. Holman, Astrophys. J. 596, 251 (2003).



# **ЗАДАЧА ОБ ОБТЕКАНИИ ЗВЕЗДНЫМ ВЕТРОМ ПЛАНЕТ, НЕ ИМЕЮЩИХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

**А.В. Мищенко**

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия, [litergo@icloud.com](mailto:litergo@icloud.com)*

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

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия,*

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

*ИПМех РАН, г.Москва, Россия*

В настоящей работе исследуется взаимодействие набегающего потока солнечного/звездного ветра с планетой, которая не имеет собственного магнитного поля, но имеет атмосферу (пусть и очень разреженную). В частности, задача может относиться к обтекаю солнечным ветром Луны или Меркурия.

В работе формулируется постановка задачи в размерном и безразмерном видах. Обсуждаются безразмерные параметры задачи. Будет представлено численное решение задачи в зависимости от безразмерных параметров. Задача об обтекании сферы сверхзвуковым потоком газа решается методом HLLC без выделения разрывов.

# АНАЛИЗ ЛИНЕЙНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В УСТАНОВКЕ СПД-100 НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСИОННОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ГРАДИЕНТНО-ДРЕЙФОВЫХ МОД В НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ

**Н.А. Марусов**

*Московский физико-технический институт, Московская обл., г.Долгопрудный, Россия*

*НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия, marusov\_NA@nrcki.ru*

На основе дисперсионного уравнения для градиентно-дрейфовых мод в неоднородной частично замагниченной плазме с учетом эффектов инерции и конечного ларморовского радиуса электронов проведен анализ устойчивости электростатических колебаний в установке СПД-100. Используются профили равновесных параметров плазмы в двигателе, которые получены в работе посредством численного моделирования и хорошо согласуются с результатами экспериментальных измерений. Рассчитаны частоты и инкременты неустойчивых мод для разных точек вдоль длины ускоряющего канала. Показано, что в рамках используемой модели градиентно-дрейфовая неустойчивость преимущественно возникает в областях вблизи анода и вне ускоряющего канала, причём в прианодной области неустойчивыми являются только низкочастотные длинноволновые возмущения с малыми инкрементами неустойчивости, тогда как вне ускоряющего канала неустойчив широкий спектр частот, при этом наибольшими инкрементами обладают высокочастотные коротковолновые колебания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Hofer R., I. Mikellides, I. Katz, and D. Goebel, in 43rd AIAA/ASME/SAE/ ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, AIAA 2007-5267, 2007.

# РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ СВЯЗАННЫХ ЗАДАЧ ПРИ РАСЧЕТЕ ЭУ

**И.Н. Сахабутдинов**

*ПАО «НПО «Искра», г. Пермь, Россия*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
г. Пермь, Россия, sin.perm@mail.ru, sin703@iskra.perm.ru*

**Научный руководитель: Н.А. Труфанов, д.т.н.**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
г. Пермь, Россия*

В работе рассматривается задача моделирования работы энергетической установки (ЭУ). В настоящее время с развитием САПР находят применение методики расчётов, использующие связанные постановки, где результаты одного типа анализа напрямую входят в качестве граничных и начальных условий в другой, что позволяет повысить точность проведения численного анализа и скорость расчета конструкций в трёхмерной постановке. Рассматриваемая ЭУ представляет собой геометрически сложную конструкцию, что приводит к существенной неоднородности скоростей высокотемпературного газового потока и необходимости решения задачи в трёхмерной постановке. Решение задачи теплопроводности требует нестационарной постановки, так как время работы таких установок мало, а тепловые воздействия приводят к быстрому росту температур материалов конструкции до критических значений, при этом связанная постановка задач теплопроводности и газодинамики позволяет отследить снижение тепловых потоков от газов в стенку за счет снижения разности температур между ними. При проведении анализа НДС конструкции изменение температурных полей играет важную роль, как с точки зрения температурной зависимости свойств материалов, так и эффектов деструкции и эрозии.

Для рассматриваемого изделия проведено решение задач газодинамики и теплопроводности в связанной постановке с дальнейшей передачей результатов в задачу определения НДС. Проведено сравнение результатов решения трёхмерной связанной задачи газодинамики и теплопроводности с решением задач в принятой одномерной постановке, где рассматриваются только осесимметричные зоны конструкции, которое показало удовлетворительную сходимость результатов.

**КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ  
И ЭКСПЕРИМЕНТ**

# 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), г.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.

# **ПРИБОР ТЕРМО-Л, ВХОДЯЩИЙ В СОСТАВ ПОСАДОЧНОГО МОДУЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ МИССИИ «ЛУНА-ГЛОБ»**

**Д.А. Белов, Н.В. Душенко, В.Ю. Маковчук, В.И. Пузей, Е.Г. Савельев**  
*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
г. Москва, Россия, belov.dmitry1989@yandex.ru*

**Научный руководитель: Е.Н. Слюта, к.г.-м.н.**  
*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
г. Москва, Россия*

Прибор ТЕРМО-Л предназначен для исследования теплофизических свойств поверхности реголита Луны: удельной теплоемкости, теплопроводности, тепловой инерции. Прибор состоит из трех функциональных блоков: блока электроники и двух откидывающих устройств с установленными в них поверхностными термодатчиками. Блок электроники устанавливается на теплостабилизированную панель, является ключевым узлом по управлению всей электроникой прибора и преобразованию сигналов с поверхностных термодатчиков в определенные величины. Откидывающие устройства устанавливаются на корпус посадочного модуля и обеспечивают установку поверхностных термодатчиков на поверхность Луны и надежный тепловой контакт чувствительного элемента термодатчика с реголитом.

Термодатчик представляет собой сложную конструкцию, которая включает в себя нагревательный элемент, теплопровод с терморезисторами, установленными по его длине, изолированный от окружающего пространства корпусом. Устройство термодатчика обеспечивает теплоизоляцию теплопровода от корпуса.

Масса прибора ТЕРМО-Л составляет  $2.8 \pm 0.1$  кг. Прибор обеспечивает точность показания температуры  $\pm 1^\circ\text{C}$ , и откидывающие устройства предназначены для работы в экстремальных условиях температуры  $\pm 150^\circ\text{C}$ .

# ЛАБОРАТОРНЫЕ 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), г.Москва, Россия,  
moiseenko-da@yandex.ru,

<sup>2</sup>ООО «НПП «Астрон Электроника», г. Орел, Россия

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

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

В докладе представлены результаты работ по настройке и определению характеристик образца прибора АРИЕС-Л, рассматриваются методы исследования и настройки узлов прибора – модуля электронной оптики, детектора, источников питания.

Прибор АРИЕС-Л представляет собой энерго-масс-спектрометр с полем зрения, близким к 2π. Широкое поле зрения даёт возможность одновременно регистрировать характеристики облучающего пучка (солнечный ветер) и характеристики вторичных ионов, выбиваемых солнечным ветром из лунного реголита. Прибор также оснащен конвертером нейтральных частиц, что позволяет регистрировать поток нейтральных атомов с поверхности Луны. В рамках проектов Луна-Ресурс и Луна-Глоб использование прибора АРИЕС-Л направлено на изучение лунного реголита методом вторичной ионной масс-спектрометрии, процессов взаимодействия солнечного ветра с лунным грунтом и магнитосферой Земли.

# ПЫЛЕУДАРНЫЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ПРОЕКТА ИНТЕРГЕЛИО-ЗОНД

**Д.А. Моисеенко, Д.Н. Глазкин, М.И. Маркичев**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия,  
moiseenko-da@yandex.ru*

**Научный руководитель: О.Л. Вайсберг, д.ф.-м.н.**  
*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия*

В работе представлены результаты лабораторных испытаний физического макета пылеударного масс-спектрометра ПИПЛС-А, разрабатываемого в рамках проекта Интергелиозонд.

Прибор ПИПЛС-А представляет собой пылеударный времяпролетный масс-анализатор, позволяющий определять элементный состав пылевых частиц, производить оценку их скорости и массы.

Эксперимент направлен на изучение частиц межзвездной и межпланетной пыли в проекте Интергелио-Зонд и позволит получить данные о пространственном распределении пылевых частиц вблизи Солнца и вне плоскости эклиптики, об их элементном и массовом составе. Основные научные задачи эксперимента:

- Определение характеристик отдельных пылевых частиц: массы, скорости, элементного и изотопного состава;
- Определение пространственного распределения частиц пыли;
- Определение разнообразия по составу разных популяций частиц;
- Анализ и интерпретация полученных результатов в части определения вклада в динамику частиц в солнечной системе от комет, астероидов и межзвездной пыли.



# ДЕТЕКТОР КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ МЕТЕОР-Л

**А.И. Демьянов**

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

**Научный руководитель: В.В. Высочкин**

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
г. Москва, Россия*

Детектор космической пыли предназначен для определения плотности метеорного потока по трассе перелета Земля-Луна и вблизи Луны; выявление наличия пылевой оболочки у Луны; получение данных о физико-динамических параметрах (масса, скорость) метеорных частиц, а также для оценки метеорной опасности полетов космических аппаратов в данной области космического пространства.

Детектор космической пыли «МЕТЕОР-Л» состоит из блока детектора и блока электроники. Конструктивно прибор выполнен единым блоком.

Датчик прибора ионизационного типа регистрирует параметры ионной компоненты плазмы, образующейся при высокоскоростном ударе частицы о мишень. Технические характеристики прибора приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики прибора «МЕТЕОР-Л»	
Измеряемые параметры	Масса, скорость метеорных частиц
Диапазон измерений	Масса частиц: от $3 \times 10^{-15}$ до $10^{-5}$ г Скорость частиц: от 1,5 до 35 км/с
Точность измерений	Массы: $\pm 30\%$ Скорости: $\pm 10\%$ в диапазоне скоростей до 10 км/с $\pm 30\%$ в диапазоне скоростей от 10 до 35 км/с
Габариты прибора, мм	$\varnothing 252 \times 380$
Масса прибора, кг	$2,9 \pm 0,3$
Потребление, Вт	5,5
Напряжение питания, В	27

# РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ ПРИБОРА «ГЕЛИКОН-И»

**Е.Г. Ковылова**

*СПбПУ Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия*

*ФТИ им. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия, fomalhaut.hm@gmail.com*

Установка сцинтилляционного гамма-спектрометра Геликон-И на борту космического аппарата (КА) Интергелиозонд позволит организовать многолетние наблюдения всплесков жесткого рентгеновского излучения Солнца и космических гамма-всплесков в широком энергетическом диапазоне 10 кэВ – 15 МэВ в оптимальных условиях межпланетного пространства.

Необходимым этапом создания аппаратуры спектрометра является отработка ее взаимодействия с бортовыми системами КА. Для этих целей должна быть создана контрольно-испытательная аппаратура (КИА), призванная обеспечить полную имитацию взаимодействия прибора Геликон-И с КА.

В данной работе рассматривается процесс разработки КИА Геликон-И, а также результаты калибровки прибора, произведенной с ее помощью.

# РАЗРАБОТКА ВИХРЕВОГО РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

**А.Ю. Усс**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия, магистрант, uss25.ru@mail.ru*

**Научный руководитель: А.В. Чернышев, д.т.н., профессор**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия*

Запорно-регулирующие устройства (ЗРУ) во многом определяют надежность и безотказность работы пневмогидравлических систем, в составе которых они функционируют. Прежде всего это объясняется наличием подвижных элементов, движущихся с большими скоростями и соударяющихся с деталями и узлами конструкции. Подвижные элементы ЗРУ подвержены воздействию нелинейных газостатических и газодинамических нагрузок, что в совокупности с действием сил со стороны упругих элементов часто вводит их в режим автоколебаний. Кроме того, такие элементы ЗРУ, как клапанные узлы, находятся во взаимодействии со скоростным потоком рабочего тела, под воздействием которого возможно частичное, а в некоторых случаях полное разрушение уплотнительного элемента. Высота подъема клапанного узла в ЗРУ в процессе регулирования выходного давления или расхода газа может находиться в диапазоне от нескольких микрон до нескольких десятых долей миллиметра, что вызывает необходимость высокой степени очистки рабочего тела.

Повысить надежность работы ЗРУ можно за счет создания конструкций без подвижных элементов, принцип работы которых основан исключительно на аэрогидродинамических эффектах с использованием вихревого течения газа. Вихревые регуляторы давления газа могут функционировать при работе с высокотемпературными и загрязненными газами.

Первые разработки по данной теме появились в конце 60-х годов прошлого века. Проведенный патентный обзор и обзор научно-технической литературы показал, что вихревые регуляторы давления газа могут использоваться в таких системах как наддув газа в топливные баки, в системах управления вектором тяги ЖРД, системах впрыска топлива в ЖРД и др. Однако большинство рассмотренных конструктивных схем вихревых регуляторов давления так и не было доведено до широкого практического применения в связи с отсутствием математических моделей и отлаженных алгоритмов расчета их рабочих процессов. Теоретические основы расчета течения газа в вихревых регуляторах изложены в работах Залмансона Л.А., Лебедева И.В., Бугаенко В.Ф., Попова Д.Н. Математические модели расчета рабочих процессов строятся на базовых законах физики и эмпирических зависимостях, которые на практике могли быть использованы лишь на начальном этапе расчета подобных конструкций.

В данной работе предложена математическая модель рабочих процессов в проточной полости вихревого регулятора давления газа на основе методов вычислительной гидрогазодинамики. Результаты расчетно-теоретических исследований рабочих процессов позволили определить основные конструктивные размеры и функциональные параметры, на основе которых разработана конструкция вихревого регулятора давления газа с локальной подачей управляющего потока.

С применением аддитивных технологий изготовлен экспериментальный образец вихревого регулятора давления газа. Результаты экспериментальных исследований подтвердили адекватность созданной математической модели.

В настоящее время проведены численные исследования и разработана новая конструкция вихревого регулятора с распределенной подачей управляющего потока рабочей среды, а также с регулированием закрутки питающего и управляющего потоков рабочей среды.

# ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ЗВЕЗДНОЙ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

**А.И. Башкатов** , **Е.О. Еремин**

АО «ОКБ МЭИ», г. Москва, Россия, [bashkatov.alexandr@mail.ru](mailto:bashkatov.alexandr@mail.ru)

**Научный руководитель: В. В. Кузнецов к.т.н., доцент**

МТУ (МИРЭА), г. Москва, Россия

В АО «ОКБ МЭИ» разрабатывается система звёздной ориентации, включающая несколько звездных датчиков (ЗД), имеющая высокую точность определения ориентации (0,2угл. си лучше).

В докладе рассмотрены принципы расчета конструктивных характеристик ЗД, необходимых для достижения заданного уровня точности определения ориентации и быстродействия датчика. Показаны принципы расчета минимально необходимых характеристик оптической системы и матричного приемника излучения звёздного датчика ориентации, которые позволяют достигнуть требуемой погрешности определения ориентации для заданной экспозиции. В расчете предполагается, что на погрешность ориентации влияют только случайные шумы различного происхождения, а все систематические погрешности устранены. Приведены характеристики, необходимые для датчиков различного назначения. Показано, что в существующих звёздных датчиках ориентации погрешность превышает минимально достижимую на порядок величины из-за неучтенных систематических погрешностей.

# СОЗДАНИЕ СТЕНДОВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБРАЗЦОВ ЖРД И ИХ АГРЕГАТОВ

**А.Н. Ушков, Н.Г. Иванов, А.В. Быков**

АО «НПО Энергомаш им. ак. В.П. Глушко», г. Москва, г. Химки, Россия,  
andreyush@mail.ru

В докладе изложен опыт создания стендовой базы и проведения огневых испытаний в рамках реализации НИР и ОКР по следующим тематикам:

Проведение экспериментальной отработки воспламенения невоспламеняющихся компонентов ракетного топлива с помощью лазерного зажигательного устройства (ЛЗУ) при запуске рулевой камеры двигателя РД107 и экспериментального газогенератора.

Работы по данной тематике проводились совместно с ГНЦ ФГУП «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» в два этапа. В ходе первого этапа отработывалось воспламенение топлива при помощи ЛЗУ на экспериментальном газогенераторе. Полученный опыт был эффективно использован на втором этапе работ при отработке воспламенения топлива непосредственно в рулевой камере двигателя РД107 ракетносителя «Союз», доработанной под установку ЛЗУ.

Созданная в рамках данной работы стендовая база позволила провести успешную отработку воспламенения топлива (кислород+керосин) при помощи ЛЗУ в условиях, максимально приближенных к работе рулевой камеры двигателя РД107 на предварительной ступени.

Исследование принципов работы и создание демонстрационного образца кислородно-керосинового ЖРД со спиновым детонационным режимом горения (заказчик Фонд Перспективных Исследований)

В рамках данной работы выполнено проектирование, монтаж и ввод в эксплуатацию второго рабочего места сооружения 4 научно-испытательного комплекса АО «НПО Энергомаш».

Данное рабочее место представляет собой испытательный стенд, предназначенный для проведения огневых испытаний детонационной модельной камеры (ДМК). В состав стенда входят пневмогидравлические системы, система управления и регулирования, системы измерений и общеинженерные системы.

Для инициации процесса детонации в стендовую систему управления интегрирована экспериментальная система зажигания (разработка УНПП «МОЛНИЯ» г. Уфа), позволяющая генерировать как одиночные, так и серию разрядов с временной задержкой от 35 мс между импульсами и энергией в импульсе от 2,3 до 9,5 Дж.

Штатная система измерений позволяет регистрировать до трехсот параметров (давления, пульсации давлений, температуры, расходы и вибрации), включая замеры непосредственно на испытуемом изделии и общестендовые параметры.

Стандартные средства измерений не позволяют диагностировать процесс возникновения и движения детонационных волн. В качестве наиболее эффективного средства регистрации детонационных волн, переходных процессов и процессов горения используется видеосъемка среза сопла ДМК при помощи высокоскоростной видеокамеры.

В 2016 году на втором рабочем месте сооружения 4 проведена серия из 16 огневых испытаний ДМК. В 2017 году данные работы будут продолжены.

Подготовка стендовой базы к проведению огневых испытаний модельных насадок радиационного охлаждения из ВЖ98 и КМ (заказчик ГНЦ ФГУП «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша»).

Основным параметром при оценке возможности создания камеры с радиационным охлаждением является значения температур на стенках насадка,

а также оценка влияния увеличения расхода через завесу на величину удельного импульса. Кроме того, при проведении данных работ необходимо определить величину деформации неохлаждаемого насадка после каждого огневого испытания.

В настоящее время в АО «НПО Энергомаш» активно ведутся работы по модернизации стендовой базы в целях обеспечения требований, предъявляемых заказчиком к проведению данных работ.

#### **ВЫВОДЫ:**

В ходе проведенных работ в АО «НПО Энергомаш имени ак. В.П. Глушко» создана многофункциональная стендовая база, позволяющая проводить наряду с испытаниями товарной продукции экспериментальную отработку перспективных разработок в области ЖРД.

# ЛУННЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ДАЛЬНОМЕР ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ГЛОНАСС

**И.А. Гречухин**

АО «НПК «СПП», г. Москва, Россия, grechukhin.igor@gmail.com

**Научный руководитель: О.А. Ивлев, к.т.н.**

АО «НПК «СПП», г. Москва, Россия

Для формирования и поддержания высокоточных отечественных эфемерид Луны в АО «НПК «СПП» создается лунный лазерный дальномер (ЛЛД) с миллиметровым уровнем точности определения дальности до ретрорефлекторов (РР), установленных на поверхности Луны.

Разрабатываемый дальномер будет расположен в составе наземной оптико-лазерной системы с телескопом информационным (НОЛС ТИ) Алтайского оптико-лазерного центра (АОЛЦ) им. Г.И. Титова в п. Саввушка Змеиногорского района.

Основные технические характеристики разрабатываемого ЛЛД:

1. ЛЛД будет построен по схеме моностатического коаксиального локатора, встроенного в приемно-передающий телескоп информационный (ТИ-3.12), разделение приемного и передающего каналов будет обеспечено с помощью вращающегося оптического обтюратора. Главное назначение ТИ-3.12 – получение детальных изображений низкоорбитальных космических аппаратов, поэтому в основу проектирования ЛЛД были заложены принципы максимальной автоматизации, сокращения времени сеанса измерения дальности и расширение времени задействования НОЛС ТИ с учетом проведения дневных сеансов локации;

2. приемно-передающий телескоп ТИ-3.12 построен по схеме Кассегрена и расположен на альт-азимутальном опорно-поворотном устройстве. Диаметр главного зеркала ТИ-3.12 составляет 3.12 м;

3. отличительной особенностью от мировых лунных дальномеров являются характеристики лазерного передатчика (ЛП), обусловленные идеологией построения ЛЛД:

- длина волны 532 нм;
- длительность импульса не более 100 пс;
- частота следования импульсов не менее 200 Гц;
- энергия в импульсе 250 мДж;
- расходимость лазерного излучения на выходе ТИ-3.12 1,36 угл.сек.;

4. система измерения дальности построена на основе гибридного фотоэлектронного умножителя с квантовой эффективностью до 40% на длине волны  $\lambda = 532$  нм и каскада из 4-х измерителей временных интервалов с распределителем импульсов, которые позволяют регистрировать дополнительные временные события в одном стробе дальности. Такое построение приемной аппаратуры позволяет работать при высоком уровне фоновых помех, в том числе и днем;

5. система частотно-временной синхронизации построена на основе водородных стандартов частоты и времени с нестабильностью не более  $(1...2) \cdot 10^{-15}$  при нормальных условиях измерений на интервале времени измерения 24 ч;

6. телевизионная система точного дифференциального наведения ЛЛД, позволяющая навести лазерный луч с расходимостью 1,36» на панели уголковых отражателей на поверхности Луны, с точностью менее 1», компенсируя при этом погрешности, возникающие при наведении ТИ-3.12, связанные с атмосферной турбулентностью, ошибкой слежения, ветровыми колебаниями трубы телескопа и механическими деформациями трубы при различных углах места.

Сочетание выбранных технических решений с применяемой элементной базой позволит создать в России лунный лазерный дальномер мирового уровня точности.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОДАТЧИКОВ НА КОНТРОЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ ИМИТАТОРОВ ЛУННОГО ГРУНТА

**В.Ю. Маковчук, Д.А. Белов, Е.Г. Савельев**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, г.Москва, Россия*

## ВВЕДЕНИЕ

Прибор ТЕРМО-Л предназначен для работы на борту посадочных модулей для измерения теплофизических свойств (теплопроводность, теплоемкость) поверхностного слоя Лунного грунта в месте посадки КА в активном и пассивном режимах работы. В пассивном режиме проводятся измерения температуры поверхности реголита. Активный режим измерений позволит оценить теплофизические свойства за счет измерения потока тепла. Эти данные смогут служить калибровочными для дистанционных измерений. Определение температурной зависимости коэффициента теплопроводности реголита, дает также оценку степени его дисперсности.

## ИСПЫТАНИЯ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ ТЕРМО-Л

Испытания проводились в лаборатории ГЕОХИ РАН на аналоге летного прибора ТЕРМО-Л. Проводились исследования влияния температуры среды и давления и их влияние на показания термодатчиков. Контрольная аппаратура обеспечивала измерение давления с погрешностью  $\pm 20\%$ . Регистрация температуры с погрешностью менее 0,5 К производилась для трех точек вакуумной камеры и двенадцати точек камеры КТХ. Сигналы прибора регистрировались с частотой 1 Гц 16-разрядным аналого-цифровым преобразователем и вводились в компьютер.

Задачей этапа вакуумных испытаний являлось определение степени разрежения, необходимой для правильной работы прибора. Испытания проводились в активном режиме. Испытания подтвердили зависимость показаний прибора от давления, характерную для перехода от конвективного к молекулярному и, далее, вакуумному режиму теплопереноса. Было выяснено, что для получения надежных измерений рекомендуется проводить испытания при давлении не более  $10^{-4}$  бар.

Активные измерения в вакууме проводились в режиме короткого замыкания (КЗ) и холостого хода (ХХ). Режим короткого замыкания соответствует максимальному отводу тепла встроенного нагревателя и обеспечивается путем создания теплового контакта чувствительной поверхности датчика с теплопроводящей массой (медной пластиной). Тепловой контакт обеспечивался пастой КПТ-8. Режим холостого хода соответствует минимальному отводу тепла нагревателя (чувствительная поверхность датчика располагается на поверхности пластины из фторопласта).

В результате испытаний получены записи циклов работы прибора с синхронными измерениями температуры в реперных точках. Эти данные позволили провести температурную градуировку датчиков прибора.

## ВЫВОДЫ

1. Измерения дали однозначный результат. В ходе проведения измерений значения для каждого образца (медной пластины, фторопласта и стеклянных шариков) разнятся, что говорит об интерпретируемости полученных измерений.
2. Для построения модели определения тепловых свойств необходимо произвести больше измерений для получения надежных статистических данных.



# КОНЦЕПЦИЯ ГЕТЕРОДИННОГО СПЕКТРОМЕТРА СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ В СРЕДНЕМ ИК-ДИАПАЗОНЕ ДЛЯ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТНЫХ АТМОСФЕР

**В.В. Гарамов<sup>1</sup>, В.М. Семенов<sup>1</sup>, О.В. Бендеров<sup>1</sup>, А.В. Родин<sup>1</sup>, М.В. Спиридонов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет), г. Долгопрудный, Россия, [garamov@phystech.edu](mailto:garamov@phystech.edu)

<sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва, Россия

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

Московский физико-технический институт (государственный университет), г. Долгопрудный, Россия  
ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

Наиболее информативным источником данных о состоянии планеты и ее эволюции является атмосфера. На основе изучения спектральных свойств атмосферы может быть получена следующая информация: средняя концентрация основных и малых газовых составляющих, их вертикальное распределение, вертикальные профили давления и температуры. При проведении измерений с высоким спектральным разрешением, возможно прямое измерение скорости ветра, основанное на регистрации Доплеровского смещения отдельных спектральных линий. Последнее дает возможность восстановления энергетического баланса и картины глобальной циркуляции атмосферы планеты. Подобные данные могут быть использованы для верификации трехмерных численных моделей атмосферы.

Для решения этих задач, начиная с 70х годов XX века, успешно применялся метод гетеродинной спектроскопии. В настоящее время в связи с созданием компактных лазерных источников в диапазоне 4-14 мкм появилась возможность дальнейшего совершенствования данного метода. Для точных измерений скорости ветра на различных высотах необходимы наземные телескопы со спектрометрами сверхвысокого разрешения. Подобные приборы уникальны и разрабатываются всего несколькими научными группами во всем мире. Развитие этих инструментов происходит довольно медленно из-за отсутствия технологической базы для используемого диапазона длин волн. Применение актуальных разработок позволит использовать гетеродинную ИК-спектроскопию для непрерывного мониторинга движения воздушных масс, работая с широко распространенными телескопами метрового класса.

Ключевое отличие предложенной концепции прибора от существующих аналогов — использование волоконной оптики в оптической схеме инструмента. Такой прибор будет значительно компактнее аналоговых устройств, построенных на принципах открытой оптики. Впервые планируется применение волоконных разветвителей для среднего ИК-диапазона. До сих пор не существует налаженной технологии производства волокон с малыми потерями для этого участка спектра, а также и разветвителей таких волокон. Однако стоит отметить большой прогресс в развитии халькогенидных волокон в последние годы.

Нашей группой был разработан и изготовлен жидкостно-охлаждаемый корпус квантово-каскадного лазера (ККЛ), используемого в качестве локального осциллятора. Были исследованы рабочие характеристики ККЛ с длиной волны излучения 7,78мкм. Регистрация излучения осуществляется с помощью сконструированного нами детектора на КРТ-фотодиоде со встроенным термоэлектрическим охладителем. Создан лабораторный макет гетеродинного спектрометра. Управление накачкой лазера и регистрация сигналов осуществляется с помощью платы ввода/вывода NI USB6289 и разработанного программного обеспечения на базе LabView. Определены шумовые характеристики системы и продемонстрирован эффект гетеродинирования.

# ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВКИ ЗВЕЗДНОГО КОРОНОГРАФА НА КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП

**И.А. Дзюбан, А.В. Тавров, И.А. Шашкова**

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

**Научный руководитель: А.В. Тавров, д.т.н.**

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

Звездная коронография решает задачи прямого наблюдения объектов слабой интенсивности вблизи ярких объектов. Одним из характерных объектов изучения звездной коронографии являются экзопланеты. Задачами звездной коронографии занимаются такие наземные инструменты как SUBARU, Keck и VLT. Установка коронографа на космический телескоп позволит добиться значительного улучшения углового разрешения прибора и его коронографического контраста. В докладе будет представлено описание и оптическая схема системы коррекции волнового фронта перед входом коронографа, анализ эффективности работы коронографа и оценка влияния схемы на поляризацию света и возможности проведения поляризационного анализа наблюдаемых объектов.

# ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ КОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «БИОН-М»

**М.Н. Скобленков**

*Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс»,  
г. Самара, Россия, skoblenkov@gmail.com*

Оценка качества и эффективности космического комплекса (КК) «Бион-М» осуществляется с целью систематической проверки соответствия КК «Бион-М» установленным требованиям заказчика, выявлению «слабых» мест и принятию решений по устранению несоответствий.

Проведен системный анализ показателей качества и эффективности КК «Бион-М».

Построена модель анализа и оценки качества и эффективности КК «Бион-М».

Разработана методика оценки качества и эффективности КК «Бион-М».

Качество КК «Бион-М» определяется показателями, основанными на назначении КК «Бион-М», так как показатели назначения характеризуют его свойства, определяющие основные функции, для выполнения которых он предназначен, и обуславливают область его применения.

Актуальным продолжением настоящей работы является автоматизация процесса оценки качества и эффективности КК «Бион-М» с применением интеллектуальных методов и моделей. В связи с этим разработаны рекомендации (основные требования) для автоматизированной системы.

# АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДВУНАПРАВЛЕННОЙ ФУНКЦИИ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ОПТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В.В. Сазонов<sup>1</sup>, В.Ю. Кузьмин<sup>1</sup>, Т.Е. Романенко<sup>1</sup>, И.А. Самыловский<sup>1</sup>,  
А.Н. Семёнов<sup>1</sup>, Е.Ю. Макарова<sup>1</sup>, Д.М. Медведев<sup>1</sup>, О.В. Морозов<sup>1</sup>,  
М.Р. Ахмедов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Московский государственный университет  
имени М.В.Ломоносова», г. Москва, Россия, [helena.makarova@cs.msu.ru](mailto:helena.makarova@cs.msu.ru)

<sup>2</sup>ГАО РКК «Энергия» им. С. П. Королёва, Московская обл., г. Королев, Россия

При осуществлении оптического мониторинга техническими средствами, обладающими по меньшей мере одной степенью свободы, для планирования съемки, необходимо знать светоотражающие свойства поверхностей элементов космического аппарата, попадающих в поле зрения объектива, включая оптические свойства иллюминаторов, если мониторинговый прибор установлен в отсеке экипажа пилотируемого космического аппарата.

В настоящее время оценка освещенности производится специалистами-проектировщиками на реальном макете с помощью приборов измерения освещенности. Поскольку построение и реконфигурация подобных макетов требует больших трудозатрат, было предложено прибегнуть к современным средствам математического моделирования для проведения вычислительного эксперимента и решения задачи расчета освещенности пилотируемых космических аппаратов в рамках трехмерной геометрической модели космического аппарата с заданными светоотражающими свойствами поверхностей и конфигурацией источников света.

Необходимо отметить, что не существует стандартного метода измерения двунаправленной функции отражательной способности (ДФОС) материалов, позволяющего определить ДФОС с достаточной точностью для всех допустимых направлений падающего и отраженного света.

В рамках данной работы проработаны принципы создания программно-аппаратного комплекса для определения ДФОС. Предложенный комплекс позволит производить измерения ДФОС для плоских образцов непрозрачных материалов с однородной или близкой к однородной отражающей способностью с высокой точностью практически для всех допустимых направлений падающего и отраженного света.

В работе рассмотрены также способы определения двунаправленной функции отражательной способности с учетом подповерхностного рассеивания, двунаправленной функции пропускательной способности, двунаправленной текстурной функции, пространственной двунаправленной функции отражательной способности.

# МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ОСВЕЩЕННОСТИ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ОПТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В.В. Сазонов<sup>1</sup>, В.Ю. Кузьмин<sup>1</sup>, Т.Е. Романенко<sup>1</sup>, И.А. Самыловский<sup>1</sup>,  
А.Н. Семёнов<sup>1</sup>, Е.Ю. Макарова<sup>1</sup>, Д.М. Медведев<sup>1</sup>, О.В. Морозов<sup>1</sup>,  
М.Р. Ахмедов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», г. Москва, Россия, [helena.makarova@cs.msu.su](mailto:helena.makarova@cs.msu.su)

<sup>2</sup>ГАО РКК «Энергия» им. С. П. Королёва, Московская обл., г. Королев, Россия

Освещенность элементов интерьера, оборудования и рабочих поверхностей элементов пилотируемых космических аппаратов регламентируется стандартами Российской Федерации. Дополнительный вклад в освещенность, помимо искусственных источников света, могут давать проходящие через иллюминаторы прямые или отраженные солнечные лучи, блики от элементов внешней поверхности космического аппарата. При выполнении задач оптического мониторинга, выполняемого с помощью мобильных технических средств, стационарно не закрепленных в одной точке космического аппарата, крайне важно как знать прогностическую оценку качества планируемого мониторингового исследования, так и иметь рекомендации по улучшению их качества.

В рамках настоящей работы были получены следующие основные результаты:

- написан программный код расчета освещенности в произвольных точках поверхности пилотируемого космического аппарата по трехмерной компьютерной модели аппарата;
- осуществлен вывод результатов расчета в текстовом и графическом виде;
- реализован сравнительный анализ рассчитанных значений освещенности с нормативными значениями и вывод результата сравнения.

Разработанная программа позволяет задавать интенсивность и различные диаграммы направленности для источников света, а также различные ДФОС (двунаправленные функции отражающей способности) для поверхностей. Для задания ДФОС возможно использование моделей Блинна-Фонга и Кука-Торренса с различными значениями параметров.

Результатами работы исполняемого объектного кода (помимо рекомендаций экипажу) являются:

А) интерактивное изображение 3Д-модели изделия, позволяющее:

- рассматривать 3Д-модель в произвольном ракурсе;
- визуально оценивать освещенность элементов КА по их яркости на изображении;
- определять численное значение освещенности в произвольной точке поверхности;
- демонстрировать соответствие освещенности в контрольных точках установленным нормам;

В) файлы, содержащие:

- информацию о расчетном случае (взятом для расчета режиме освещения изделия);
- таблицу с рассчитанными значениями освещенности в контрольных точках, установленными для них нормами и отметками об их выполнении или невыполнении;
- погрешности вычисления.

# НАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КА ДЗЗ «РЕСУРС-П» И МКА «АИСТ-2Д»

**Е.К. Яковлев, В.И. Рублев**

*АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара, Россия, Yak-istrebite12006@yandex.ru*

Важнейшие свойства спутниковой навигации, как глобальность и малая зависимость от погодных условий, возможность проведения измерений в любой точке Земли и околоземного пространства, позволяют успешно использовать ее в контуре управления космическим аппаратом (КА) наблюдения и обеспечении их автономного функционирования.

В статье рассматриваются вопросы обоснования состава, построения и оценки точности спутниковой навигации КА при использовании в ней радионавигационных сигналов от глобальных навигационных спутниковых систем.

В статье определены функциональные задачи системы, описаны предъявленные к системе требования и ограничения, структурное построение, а именно навигационная аппаратура и программно-алгоритмический состав.

В статье описывается функционирование системы спутниковой навигации КА «Ресурс-П» на этапе летных испытаний, описан способ определения эталонной орбиты, приведен сравнительный анализ навигационного обеспечения КА «Ресурс-П» и МКА «АИСТ-2Д».

В статье приведены результаты оценки точностных характеристик системы спутниковой навигации КА «Ресурс-П» №3, проведено сравнение с зарубежными КА ДЗЗ, сделаны выводы о дальнейшем совершенствовании системы спутниковой навигации.

В заключении делается вывод о том, что реализованная на КА ДЗЗ разработки РКЦ «Прогресс» система спутниковой навигации в процессе своего функционирования обеспечивает точность определения параметров движения, необходимую для решения целевых задач аппарата и построения схем навигационного обеспечения процессов управления аппаратом.

# КАЛИБРОВКА ПОРТАТИВНОГО ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРА ВИДИМОГО И БЛИЖНЕГО ИК-ДИАПАЗОНОВ

**В.В. Волков**

АО «ПКЦ «Прогресс», г. Москва, Россия, volvvv@mail.ru

Для целей дистанционного анализа физических сред, находящихся в различных агрегатных состояниях, среди неразрушающих методов контроля, наибольшее распространение получили анализирующие гиперспектральные приёмники видимого и ближнего ИК-диапазонов спектра. При этом используются приборы как наземного, так и космического применения, установленные на аппаратах дистанционного зондирования земли. Особенностью данной аппаратуры является то, что каждый пиксел полученного гиперспектрального изображения несёт в себе информацию о спектральной плотности считанного сигнала во всём диапазоне длин волн (от видимого до ИК). Математическая обработка полученных данных позволяет совместить высокую спектральную разрешающую способность, с высокой скоростью сканирования считываемых кадров, из которых формируется конечный снимок.

Наиболее актуальной проблемой верификации гиперспектрометров является приведение в соответствие спектральных данных в канале с истинной яркостью, что решается в процессе радиометрической и спектральной калибровки, путём перехода к коэффициентам спектрального отражения, что позволяет наиболее точно определить свойства изучаемой поверхности. Именно требование спектральной калибровки позволяет по полученным кадрам производить автоматическую классификацию, и спектральное разделение объектов имеющих различных химический состав и физическое состояние поверхности.

Рассматривается методика калибровки портативного гиперспектрометра, на основе метрологической установки на основе галогеновой и ртутной лампы, что делает возможным верификацию его спектрального отклика. При использовании галогеновой лампы используется модель абсолютно-чёрного тела (АЧТ) и приведена оценка относительной спектральной плотности излучения, для выравнивания чувствительности отдельных пикселей. Моделируется использование БИК – светодиодов, с переходами на основе AsGa и применение их в составе прибора, а это позволит проводить калибровку аппаратуры «в полёте». Малые габариты позволят применить гиперспектрометр для космических программ из серии «Бион», и ему подобных, для отслеживания концентрации различных веществ в газовой и жидкой фазе.

Для целей апробации методик калибровки и первичной обработки данных был создан прототип - изображающий видеоспектрометр, и проведено исследование его характеристик. Разложение в спектр осуществляется дифракционной решётки (1200 штрихов /мм), после чего считывается КМОП – камерой. Спектральная картина – гиперкуб, формируется на основе считанного излучения в диапазоне 0,4 – 1 мкм одновременно в 120 каналах. Приведены алгоритмы обработки полученного массива данных и программа тестового просмотра спектральных характеристик. Рассматриваются примеры полученных снимков различных спектральных источников и их сравнительная характеристика. Показано, что комбинируя источники различного спектрального состава, путём проведения соответствующей обработки спектральных сигнатур появляется возможность достичь спектрального разрешения не хуже 0,5 нм, с учётом радиометрической и спектральной калибровки прибора.

# МОДЕЛИ БОРТОВЫХ И НАЗЕМНЫХ НЕЙРОРАДИОЛОКАТОРОВ

**Л.В. Савкин**

*ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Москва, Россия, solaris.rafo@gmail.com*

В докладе представлены результаты моделирования нейрорадиолокаторов с цифровыми активными фазированными антенными решетками (ЦАФАР), которые могут лечь в основу построения перспективных интеллектуальных радиолокационных систем наземного и бортового применения. Разработанные модели основаны преимущественно на осцилляторных искусственных нейронных сетях (ИНС), особенностью которых является возможность перестройки как значений параметров весовых коэффициентов, так и фазо-частотных характеристик осцилляторов-нейронов. Показана возможность решения сразу нескольких задач нейросетевой обработки радиолокационной информации (РЛИ) [1] на базе одной многофункциональной модели осцилляторной ИНС. Особое внимание в работе уделено анализу проблемы перехода от гибридных моделей нейрорадиолокаторов с ЦАФАР к практически полностью однородным нейросетевым архитектурам [2]. Разработанные модели нейрорадиолокаторов таковы, что осцилляторные нейровычислители совместно с имитационной моделью ЦАФАР представляют собой функционально законченную модель нейрорадиолокатора без смежных подсистем (например, поворотного-приводного устройство, системы обеспечения температурно-влажностного режима и т. п.).

Показаны ключевые преимущества однородных нейросетевых моделей нейровычислителей перед гибридными при решении задач первичной, вторичной и третичной (построение объединенных траекторий целей на основе нескольких наземных нейрорадиолокаторов с ЦАФАР) обработки РЛИ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Татузов А.Л.* Нейронные сети в задачах радиолокации. Кн. 28. – М.: Радиотехника, 2009. 432 с.
2. *Савкин Л.В., Фокин И.В., Филатов Я.Г., Морзавченков А.С.* Активная и пассивная нейрорадиолокация: от гибридных моделей к однородным нейросетевым структурам. X Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь». Сб. трудов. – М.: ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. 2016. с. 10 – 14.



# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОПУСТИМОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ТРАНСФОРМИРУЮЩИХСЯ КОНСТРУКЦИЙ НА ЛУНЕ

**Д.В. Сербинов, Н.П. Семена, О.Е. Козлов**

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия , serbinov@iki.rssi.ru*

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

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия*

На примере лунного манипуляторного комплекса (ЛМК) показывается сложность проблемы сохранения допустимого теплового режима функционирующих на Луне приборов. Предлагается способ решения данной проблемы применительно к устройствам, имеющим в своем составе трансформируемые конструкции. Приводятся результаты теплового математического моделирования ЛМК, подтверждающие эффективность предлагаемого способа.

# ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГАЗО- И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СРЕД

**А.Е. Спирын<sup>1</sup>, М.Г. Умнов<sup>2</sup>, С.В. Козлова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский технологический университет (МИСИС), г. Москва, Россия, [inmin@misis.ru](mailto:inmin@misis.ru)*

<sup>2</sup> *ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина», Звездный городок, Московская область, Россия, [info\\_gctc@gctc.ru](mailto:info_gctc@gctc.ru)*

**Научный руководитель: А.И. Крылов, к.т.н.**

*ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина», Звездный городок, Московская область, Россия, [a.krylov@gctc.ru](mailto:a.krylov@gctc.ru)*

Главным в концепции разработки пилотируемого космического корабля (ПКА) для полётов в космос является продолжительность полёта. В этой связи основной характеристикой конструкции становятся физиологические критерии разработки систем жизнеобеспечения ПКА и их инженерные решения. В частности: интенсивность обмена веществ экипажа ПКА, скорость поглощения кислорода, скорость выделения углекислого газа, количество необходимой воды, температура и влажность окружающей среды, допустимый уровень ее загрязнения и др. В настоящее время на Международной космической станции (МКС) реализована постоянно действующая система обеспечения теплового режима – СОТР модулей МКС, которая обеспечивает температурно-влажностные характеристики газовой среды отсеков, теплового режима оборудования, термостатирования корпуса модулей, отдельных узлов и агрегатов, в том числе в негерметичных отсеках, и т.д.

Сложные газодинамические потоки, закольцованные в замкнутом объеме МКС, осуществляются десятками вентиляторов разного функционального назначения. Контроль состояния вентиляторов осуществляется по звуку и потоку воздуха, а также дистанционно по цепи питания и номинальному значению оборотов крыльчатки.

Для визуализации и оптимизации циркуляционных тепло-газо-обменных процессов как обитаемой зоны, так и запанельного пространства МКС, а также для контроля потоков в газо-жидкостных теплообменниках исследованы методы и устройства регистрации и визуализации стационарных и динамических оптически прозрачных газовых сред: от бесконтактных лазерных оптических систем термоанемометрии до контактных физических методов, считающихся наиболее развитыми.

Для измерения скоростного напора газовых или жидкостных потоков с целью минимизации массогабаритных параметров и энергопотребления предложено использовать прямое контактное преобразование напряженно-деформированных состояний тензорезистивной сенсорной консоли в электрический сигнал, вследствие воздействия на её поверхность динамического давления.

При этом для расширения динамического диапазона тензорезистивного преобразования предложено несколько вариантов выполнения сенсора: с мягкой изгибной жесткостью мембранной консоли и ограничением её кривизны поверхностью кольцевого сегмента, соответствующей максимально возможному упругому изгибу мембраны и предотвращающей её излом при вынужденной эластичности [Патент RU 2586083]; и, в виде симметричной или ассиметричной упруго-чувствительной сэндвич-структуры консольного типа, состоящей из двух и более упругих тонких слоев разной длины, с переменной площадью сечения и обладающей качеством тела равного сопротивления изгибу [Патент RU 2586259]. При этом упругие слои планарно жестко связаны между собой и с упруго чувствительным элементом либо планарно свободны, но собраны воедино в заделке.

Предложенные варианты тензорезистивных преобразователей имеют существенно упрощенную конструкцию по сравнению с аналогами, характеризуются минимальными инерционностью и пульсациями, позволяют измерять вектор скорости ВП и его мгновенные составляющие, и совместно с системой сбора и обработки данных могут визуализировать оптически прозрачные газовые потоки.

# ИЗМЕРЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ

**В.А. Шатров**

*АО «Информационные спутниковые системы»*

*имени академика М.Ф.Решетнева»,*

*г. Железногорск Красноярского края, vitalys@iss-reshetnev.ru*

Современный космический аппарат (КА), функционирующий на орбите Земли, имеет множество систем связи на своем борту. Все они используют один и тот же канал связи – расстояние между точками позиционирования КА на орбите и наземной станции на Земле (Земля-КА и КА-Земля). Огромное количество искусственных спутников Земли на орбитах, растущие объемы передаваемых данных телекоммуникационных КА, а также их большой срок активного существования (15 лет) повышают значимость учета характеристик канала при проектировании связной системы.

При расчете радиолинии часто не учитываются следующие эффекты: рефракция; отражение и рассеяние радиоволн в результате флуктуации и неоднородностей тропосферы и ионосферы; запаздывание радиоволн в тропосфере и ионосфере; изменение частоты сигнала в результате влияния тропосферы и ионосферы. Большинство телекоммуникационных КА работают при больших углах места, где влияние вышеописанных эффектов существенно лишь при больших несущих частотах (40 ГГц и выше). Исследовательские КА или же КА не геостационарных орбит сталкиваются с проблемами связи при углах места менее  $10^\circ$ . Существующие теоретические описания влияний атмосферы на параметры сигналов сильно аппроксимированы, либо представлены в зависимости от физических характеристик околоземного слоя, которые не столько не изучены, сколько нестабильны и меняются в зависимости от времени суток, года и других факторов.

Измерение импульсной характеристики космического канала связи даст не только возможность оценить помеховую обстановку, настроить согласованные фильтры приемников и передатчиков систем связи, но и решить обратную задачу радиопросвечивания атмосферы Земли с дальнейшим определением высотного профиля электронной концентрации ионосферы и других параметров околоземного пространства.

Измерения импульсной характеристики сводится к передаче зондирующего сигнала и его анализа путем деления на исходный в частотных областях (их Фурье - образ) – это будет частотная передаточная функция канала, обратное Фурье преобразование чего дает импульсную характеристику. Такие соотношения обычно используются для линейных и инвариантных относительно времени систем. В нашем случае систему можно назвать линейной и инвариантной очень и очень условно. Параллельные измерения шума в полосе частот полезного сигнала и интеграционный анализ серии измерений позволяют получать адекватную оценку импульсной характеристики канала.

Поскольку реализация описанного метода определения импульсной характеристики космического канала связи не требует значительных вычислительных, массогабаритных или иных ресурсов, дефицитных для КА, его реализация возможна в бортовой аппаратуре командно-измерительной системы, то есть на каждом КА. Оценить эффекты использования описанного метода возможно после разработки алгоритмов настройки согласованных фильтров космических систем связи по импульсной характеристике канала и после эксперимента.

# НАЗЕМНЫЙ МОНИТОРИНГ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ МЕТОДОМ ГЕТЕРОДИННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

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

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

Состояние экологии атмосферы Земли, а в частности ускоряющийся парниковый эффект, является высоко обсуждаемой проблемой правительствами разных стран. Наиболее вероятной причиной усиления парникового эффекта считается сжигание углеводородного топлива. Увеличение средней годовой температуры приповерхностного слоя атмосферы значительно влияет на процесс её циркуляции. В частности, это приводит к увеличению частоты происшествий различных климатических катастроф.

Современный темп поступления углекислого газа в атмосферу не позволяет точно прогнозировать поведение климата. Для построения точных климатических моделей, необходимо проводить измерения концентрации парниковых газов в атмосфере, а также измерять их вертикальный профиль.

На сегодняшний день существует международная сеть Total column carbon observing network (TCCON), которая занимается мониторингом атмосферы, с помощью Фурье-спектрометров высокого разрешения. Мы предлагаем проводить мониторинг парниковых газов в атмосфере с помощью гетеродинного спектрометра собственной разработки, который в перспективе может заменить Фурье-спектрометры на станциях TCCON.

Гетеродинный спектрометр состоит из следующих основных элементов:

1. Система, которая отслеживает положение солнца и направляет прямое солнечное излучение в оптическое волокно;
2. Блок электроники управления лазерами и обработки сигналов;
3. Лазерная и оптоволоконная системы.
4. Блок стабилизации частоты лазера.

Солнечный трекер реализован на основе монтировки Sky-Watcher EQ6 PRO SynScan и гидирующей камеры QHY5-II с фокусным расстоянием 4 мм и серыми фильтрами  $10^5$  кратным уменьшением интенсивности. Блок электроники состоит из драйвера тока накачки лазера, источника термоэлектрического элемента, гетеродинного канала обработки сигнала и канала стабилизации частоты. Электроника сконструирована на основе микроконтроллера STM32. В качестве опорного излучения полупроводниковый лазер с распределенной обратной связью. Стабилизация частоты лазера осуществляется по линии поглощения углекислого газа в кювете низкого давления, представленной техникой OA-ICOS (off axis – integrated cavity output spectroscopy).

По результатам макетирования и функциональных испытаний прибора будут измерены спектры поглощения углекислого газа при различных зенитных углах Солнца. По полученным спектрам будет определена средняя концентрация углекислого газа в столбе атмосферы, а также определен его вертикальный профиль. Кроме того благодаря высокому спектральному разрешению гетеродинного приема, будут определены некоторые динамические характеристики атмосферы.

# ЛЁГКИЕ КУБИЧЕСКИЕ СИЛОВЫЕ КАРКАСЫ В КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ

**А.А. Скворцова<sup>1</sup>, А.И. Драцкая<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (НИУ)», г. Москва, Россия, [saa2509@mail.ru](mailto:saa2509@mail.ru)

<sup>2</sup>МБОУ «Гимназия №5» г.Королёв, Московской области, [dratskayaa@yandex.ru](mailto:dratskayaa@yandex.ru)

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

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

Решение задачи о лёгкой и прочной конструкции для космической техники можно найти в природном явлении мыльных пузырей [1]. Поверхность мыльного пузыря имеет минимальную площадь, поэтому оболочка очень лёгкая. Если мыльную плёнку натянуть на каркас, то получится пример минимальной поверхности. Цель работы заключается в создании лёгкого силового каркаса кубической формы. Такая сложная задача решается очень просто с помощью минимальных поверхностей в виде мыльных плёнок. Для поиска минимальной поверхности надо изготовить кубический контур из тонкой проволоки и опустить его в мыльный раствор. Получится плёнка с общей площадью приблизительно в два раза меньше по сравнению с натянутой по граням куба. На основе этой плёночной структуры построена модель лёгкого каркаса кубической формы. Лёгкую кубическую структуру можно изготовить не только на основе плёнок, но и на основе стержней. Куб имеет двенадцать ребёр общей длиной  $12a$ . Пять ребёр можно убрать, при этом кубическая структура сохранится, но общая длина ребёр будет  $7a$ . Если построить кубическую структуру на основе ребёр минимальной поверхности, то их длина будет ещё меньше. Более сложные контуры, на которые натянуты мыльные плёнки, позволяют предсказать самые лёгкие каркасы без решения трудных математических задач [2-6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М.Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – 928 с. – Ил. – С.551.
2. Драцкая А.И. Минимальные поверхности. – Электронный ресурс (видеоролик): <https://youtu.be/4i38ltYQ0cw>.
3. Драцкая А.И., Скворцова А.А. Структуры на основе минимальных поверхностей / II Международная школа-конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Биомедицина, материалы и технологии XXI века». – Казанский (Приволжский) федеральный университет, 20-23 сентября 2016 г. – Электронный ресурс: <http://www.mt21kpfu.com/> – Диплом «За лучший доклад».
4. Драцкая А.И., Скворцова А.А. Минимальные кубические структуры из стержней и плёнок / X Всероссийский форум студентов аспирантов и молодых учёных «Наука и инновации в технических университетах». – Секция «Новые материалы и технологии». – Программа. – СПб, 24-29 октября 2016. – Электронный ресурс: <http://ysc.spbstu.ru/forum2016/Program2016.pdf>.
5. Драцкая А.И., Скворцова А.А. Минимальные кубические ячейки из стержней и плёнок для композиционных материалов / 59-я Всероссийская научная конференция МФТИ с международным участием, 21-26 ноября 2016 г. – Доклад 1505. – Электронный ресурс: <http://conf59.mipt.ru/ru/info/general/>.
6. Драцкая А.И., Скворцова А.А. Лёгкие композиционные структуры / 28-я Инновационно-ориентированная конференция молодых учёных и студентов МИКМУС-2016. Материалы конференции (программа, аннотации докладов). – М.: Институт Машиностроения им. А.А.Благонравова РАН (ИМаш РАН), 7-9 декабря 2016. – с.96. – Электронный ресурс: [http://www.mikmus.ru/opendocs/MIKMUС-2016/Pr\\_16\\_sait.pdf](http://www.mikmus.ru/opendocs/MIKMUС-2016/Pr_16_sait.pdf).

**ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

# **ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ДИНАМО, ЗАВИСЯЩИХ ОТ ШИРОТЫ, ДЛЯ ОПИСАНИЯ МАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА И ЗВЕЗД В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ**

**Н.А. Юхина, Е.П. Попова**

*НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, na.jukhina@physics.msu.ru*

Магнитную активность звезд принято связывать с действием механизмом динамо, который вызывает генерацию и распространение волн магнитного поля – динамо-волн. Он основан на учете совместного действия  $\alpha$ -эффекта и дифференциального вращения. На основе такой схемы построена динамическая система, описывающая генерацию магнитного поля, в случае звездного динамо с учетом меридиональных потоков и турбулентной диффузии с учетом алгебраического подавления спиральности.

В данной работе исследуется влияние меридиональных потоков, турбулентной диффузии, амплитуд  $\alpha$ -эффекта и дифференциального вращения на режимы генерации магнитного поля. Был обнаружен диапазон такого параметра как динамо-число для воспроизведения различных режимов генерации магнитного поля, в том числе и режим, соответствующий солнечному 11-летнему и квазидвухлетнему циклам. Обсуждается, как физические параметры звезды могут влиять на ее магнитную активность. Построено широтно-временное распределение магнитного поля звезды для различных режимов ее активности.

# О ВОЗМОЖНОЙ ОСОБЕННОСТИ ИСКАЖЕНИЙ СВЕРХКОРОТКОГО РАДИОИМПУЛЬСА НА МЕЖПЛАНЕТНОЙ ТРАССЕ

**Ю.С. Худышев**

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

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

*Фрязинский филиал института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН, Московская обл., г. Фрязино, Россия*

При распространении в холодной плазме электромагнитные импульсы претерпевают дисперсионные искажения, уровень и особенности которых определяются их начальными характеристиками и протяженностью трассы.

В докладе изложены результаты теоретического анализа процесса распространения по межпланетной трассе радиоимпульса, являющегося смесью хаотического импульса и прямо-угольного импульса со специальным законом частотной модуляции (ЧМ-импульса). Хаотический импульс моделируется синусоидой со случайными амплитудой и фазой. Частотные интервалы, занимаемые амплитудными спектрами импульсов, не пересекаются, причем спектр ЧМ-импульса формируется гармониками с относительно высокими частотами. Энергия хаотического импульса многократно превышает энергию ЧМ-импульса, так что последний на форму излучаемого импульса влияет незначительно.

Показано, что при рассмотренных характеристиках излучаемого импульса с увеличением интегрального электронного содержания (ТЕС) межпланетной трассы в процессе распространения происходит постепенное разделение импульсов на временной оси. При этом пиковые значения поля в хаотическом импульсе постепенно уменьшаются из-за его уширения, а пиковое значение поля в ЧМ-импульсе, напротив, может значительно возрасти вследствие его сжатия. Иначе: при выбранном законе частотной модуляции межпланетная среда в рассматриваемой задаче фактически проявляется как идеальный согласованный фильтр. Эффект разделения может проявиться и при пересечении частотных интервалов, занимаемых спектрами указанных импульсов. Обсуждается возможность его использования при передаче информации по трассам с большими величинами ТЕС.



# ФИЗИЧЕСКАЯ ЛИБРАЦИЯ ЛУНЫ – ГЛАВНАЯ ПРОБЛЕМА

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

<sup>1</sup>Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия,  
arhtur.zagidullin@ya.ru

<sup>2</sup>Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Россия

**Научный руководитель: Ю.А. Нефедьев, д.ф-м.н**  
Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

Задача данного исследования является изучение физической либрации Луны численным способом. Математическая модель для описания вращения Луны была следующей: 1. Тело Луны считалось абсолютно твердым; 2. В качестве источников возмущения рассматривались Земля и Солнце, где размеры не учитывались; 3. Орбитальная и вращательная задача рассматривались независимо друг от друга. В нашей задаче, использовалась орбитальная теория Брауна Шмидта[1].

Уравнения вращения строились в Гамильтоновом подходе, которые решались численным методом Рунге Кутты 10 порядка. Для выявления точности решения мы провели анализ остаточных разностей с аналитической теории Н.К Петровой [2]. В ходе анализа были получены следующие результаты: в либрации в долготе остаточная разность не превосходит 1.7 угловой секунды по модулю, а в либрации в широте остаточная разность не превосходит 0.7 угловой секунды по модулю. Столь большая ошибка объясняется наличием резонансных гармоник, следующих периодов 27.29 дней, 2.89 года, 62.62 года. В аналитической теории вычисление резонансных гармоник и гармоник с малыми делителями проводятся с максимальной тщательностью, но, тем не менее, именно в них возможны наибольшие ошибки вычислений, которые и проявляются при сравнении с аналогичным численным решением. Аналогичные выводы делает Г.И Ерошкин [3] при сравнении его численного решения с аналитическими теориями Экхарда [4] и Мунс [5]. Остаточные разности, полученные Ерошкиным, в пределах ошибок, согласуются с полученными нами результатами, что является независимым критерием точности, полученной в исследовании физической либрации Луны в рамках главной проблемы.

Данное исследование было первым шагом в изучении физической либрации Луны. На данном этапе мы полностью реализовали задачу в рамках главной проблемы.

Следующим шагом в развитии модели ФЛЛ мы полагаем сделать учет упругих и вязких свойств лунного тела.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Schmidt D. S. The main problem of lunar theory solved by the method of Brown, 1980, Moon and the Planets, vol. 23, p. 135-164.
2. Petrova N. Analytical extension of lunar libration tables, 1996, Earth, Moon and planets v 73, p 71-99.
3. Eroshkin G.I. Comparison of a Numerical Model of the Physical Libration of the moon with two Semi-Analytical ones, 1986, Symp. Figure and Dynamics of the Earth, Moon, and Planets.
4. Eckhardt D. H. Theory of the libration of the moon, 1981, Moon and the Planets, vol. 25, p. 3-49.
5. Moons M. Analytical theory of the libration of the moon, 1982, Moon and the Planets, vol. 27, p. 257-284.

# ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ ГРАНИЦЫ ГЕЛИОСФЕРЫ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖЗВЕЗДНОГО ВОДОРОДА ВНУТРИ ГЕЛИОСФЕРЫ

**П.Д. Минаев, В.В. Измоденов, О.А. Катушкина**  
*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН), г. Москва, Россия, p142800@gmail.com*

Известно, что нейтральные атомы водорода попадают в гелиосферу (область вокруг Солнца, занятую солнечным ветром) из локальной межзвездной среды за счет большой длины свободного пробега, которая сравнима с размерами гелиосферы. По этой же причине для определения физических параметров этих атомов нельзя применять газодинамический подход, а необходимо решать кинетическое уравнение. Перезарядка межзвездных атомов на протонах в районе границы гелиосферы приводит к тому, что внутри гелиосферы функция распределения атомов по скоростям существенно отличается от первоначальной в межзвездной среде. В частности, известно, что функция распределения становится асимметричной относительно максимума. В работе представлено решение кинетического уравнения для функции распределения атомов водорода по скоростям с различными граничными условиями, заданными на расстоянии 90 а.е. от Солнца. Проводится сравнение результатов, полученных с учетом и без учета асимметрии функции распределения атомов на 90 а.е. Это позволяет исследовать роль эффектов границы гелиосферы на параметры атомов вблизи Солнца. Кроме самой функции распределения нейтральных атомов, также анализируются её моменты, такие как, концентрация, температура и средняя скорость атомов водорода.

# ЭМПИРИЧЕСКАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЕТА И ПРОГНОЗОВ ПОТОКОВ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

**Е.П. Попова**

*НИИЯФ МГУ, г.Москва, Россия, popovaelp@mail.ru*

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

*НИИЯФ МГУ, г.Москва, Россия*

Исследование и моделирование потоков галактических космических лучей (ГКЛ) носит важный фундаментальный и прикладной характер. Они являются важной частью космической радиации, влияющей на работоспособность космической техники и здоровье экипажей космических кораблей, что необходимо учитывать при планировании будущих космических миссий, например, таких как пилотируемые полеты к Марсу.

В данной работе разработана модель потоков ГКЛ с использованием широкого спектра экспериментальных данных, полученных в ходе 21-24 солнечных циклов. Модель устанавливает количественное соотношение между потоками ГКЛ (энергия частиц от 10 до  $10^5$  МэВ / нуклон и заряд от 1 до 28) в плоскости эклиптики и солнечной активностью (числом Вольфа) с учетом расстояния от Солнца в межпланетном пространстве. Для проведения оценки радиационной опасности будущих космических миссий была использована полученная модель ГКЛ и прогноз чисел Вольфа для 25-ого и 26-ого солнечных циклов (до 2044 года). Этот прогноз указывает на продолжающуюся тенденцию снижения солнечной активности, начиная с 23-го солнечного цикла. Для того, чтобы проиллюстрировать ожидаемые изменения в радиационной обстановке с учетом прогнозируемых изменений солнечной активности, рассчитываются и обсуждаются потоки протонов в межпланетном пространстве в зависимости от календарного времени. А также вычислены дозы радиации, которые могут получить космонавты.

# **ФИЗИКА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ**

# СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ НОВОЙ И СТАРОЙ ВЕРСИЙ РЯДА ЧИСЕЛ ВОЛЬФА И ДИНАМИКА ДЛИННОПЕРИОДНЫХ КОМПОНЕНТ РЯДОВ

**А.И. Шибяев**

*Механико-математический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия, alexshibaev@yandex.ru*

Из-за введения новых правил оценки чисел Вольфа с июня 2015 г. проведена и коррекция цюрихского ряда среднемесячных чисел Вольфа (ряд относительных чисел солнечных пятен – WSN, <http://sidc.oma.be>) с января 1749 г. по май 2015 г. Сравнению характеристик старой и новой версий ряда посвящена данная работа. Анализ отношения  $W_{new}(t)/W_{old}(t)$  выделил области с отличительными амплитудными и частотными свойствами. Сопоставление параметров циклов показало (разбиение на циклы «новой» версии ряда использовало «старые» правила, т.е. усреднение по 13 месяцам), что амплитудная коррекция циклов 10 и  $18 \div 24$  значимо отличается от коррекции остальных циклов. У циклов 22 и 23 наиболее трансформирована внутренняя структура. Т. е. характер и степень коррекции свойств восстановленной и достоверной частей ряда чисел Вольфа весьма разнятся.

Проведено сравнение длиннопериодных компонент достоверных частей рядов, так как удачная их интерполяция и экстраполяция на внешний временной интервал даёт возможность для реконструкции или прогнозирования «вековой» компоненты ряда.

# ПРАВИЛО ВАЛЬДМАЙЕРА ДЛЯ ДВУХ ПОПУЛЯЦИЙ ПЯТЕН

**А.А. Осипова, Ю.А. Наговицын**  
*ГАО РАН, г.Пулково, Россия, osisasha@mail.ru*

**Научный руководитель: Ю.А. Наговицын, д.ф.-м.н.**  
*ГАО РАН, г.Пулково, Россия*

Рассмотрено правило Вальдмайера для ряда площадей групп солнечных пятен в рамках гипотезы о существовании двух популяций пятен, различающихся по физическим свойствам: «мелких» и «крупных». Проверено два варианта правила Вальдмайера: классический (ПВ1), связывающий значение индекса солнечной активности в максимуме 11-летнего цикла с длиной фазы его роста, и модифицированный (ПВ2), связывающий значение индекса в максимуме цикла со скоростью роста индекса. Создано два ряда площадей: для популяций мелких и крупных пятен соответственно. Показано хорошее выполнение ПВ1 для крупных пятен, в то время как популяция мелких пятен ему не подчиняется. ПВ2 лучше выполняется для крупных пятен, чем для мелких. Отсюда можно сделать вывод, что глобальные правила солнечной активности описывают поведение популяции крупных пятен, в то время как свойства мелких пятен показывают отличное от широкоизвестного поведение.

# 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), г. Москва, Россия, evdokimari@mail.ru*

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

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН), г. 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 плавающим центром и границами и вычислены ошибки параметров.

## 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

# ВЛИЯНИЕ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПЛАЗМЫ МАГНИТОСЛОЯ

**Л.С. Рахманова, М.О. Рязанцева, Н.Л. Бородкова, О.В. Сапунова, Г.Н. Застенкер**

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия, rakhlud@gmail.com*

**Научный руководитель: Г.Н. Застенкер, д.ф.-м.н.**

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия*

Работа посвящена одному из наиболее геоэффективных явлений в околоземной пространстве - межпланетным ударным волнам (МУВ). Магнитослой, расположенный непосредственно перед магнитопаузой, служит связующим звеном между солнечным ветром и магнитосферой Земли. Любая МУВ, перед тем как воздействовать непосредственно на магнитосферу, сначала пересекает околоземную ударную волну и проходит через магнитослой, оказывая влияние на плазму этой переходной области. Как было показано ранее в литературе, магнитослой - турбулентная область, где параметры плазмы и магнитного поля флуктуируют в широком диапазоне частот. В данной работе на основе Фурье-анализа и анализа структурных функций высоких порядков проводится сравнение характеристик турбулентности плазмы перед и за фронтом МУВ, регистрируемой спутником Спектр-Р в магнитослое. Исследование основано на данных прибора БМСВ, измеряющего характеристики плазмы с временным разрешением 31 мс. Анализируются несколько случаев регистрации МУВ и рассматривается зависимость характеристик турбулентности плазмы магнитослоя за их фронтом от параметров МУВ - толщины фронта, скорости, наклона, угла между нормалью к фронту и межпланетным магнитным полем.



# ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ АСТЕРОИДОВ ГРУППЫ АПОЛЛОНЫ С МАЛЫМИ МЕТЕОРНЫМИ ПОТОКАМИ

**М.В. Сергиенко, М.Г. Соколова**

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

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

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия*

Для большинства наблюдаемых метеорных потоков не найдено родительское тело (РТ) среди комет. Гипотезу генетической связи потоков с астероидами можно рассматривать в нескольких аспектах. Во-первых, астероид как продукт распада кометы сам является частью кометно-метеорного комплекса. Во-вторых, астероид как потухшая комета, в прошлом породившая метеороидный рой. Кроме того, не исключается возможность распада и самого астероида с образованием пылевого роя. На основе открытых данных Центра малых планет (MPC, <http://www.astro.amu.edu.pl>), Международной метеорной организации (IMO, <http://www.imo.net/index.html>) и NASA ([http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb\\_query.cgi](http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb_query.cgi)) путем сравнения орбитальных и физических параметров астероидов разных групп выделена группа Аполлонов, как наиболее вероятных кандидатов РТ для метеорных потоков [1].

Поиск астероидов, возможно генетически связанных с малыми метеорными потоками к-Цикнидами и  $\delta$ -Канкридами, проводился на основе D-критериев Друммонда [2], Холшевникова [3], оценивающих степень близости расстояния между орбитами астероида и метеороида в пятимерном фазовом пространстве. Для каждого потока из каталогов орбит Хорватского метеорного общества (<http://cmn.rgn.hr/downloads/downloads.html#orbitcat>), Японского метеорного общества SonotaCo (<http://sonotaco.jp/doc/SNM/index.html>), Астрономического института Чешской академии наук (<http://www.asu.cas.cz/en/research/data-archives>), Голландского метеорного общества (<http://dmsweb.home.xs4all.nl/photo/photo.html>), полученных по телевизионным наблюдениям, выделено порядка 700 орбит к-Цикнид и 200 орбит  $\delta$ -Канкрид. Отождествление метеоров данных потоков проводилось с 7000 астероидами группы Аполлонов, орбиты которых представлены на сайте NASA.

В результате исследований при введении определенных ограничений (по значению D-критерия, проценту его выполнения для каждой орбиты астероида и орбит метеороидов потока) для к-Цикнид и  $\delta$ -Канкрид выделено от 4 до 6 астероидов, которые могут быть генетически связаны не только с данными потоками, но и между собой. В продолжение дальнейших исследований, в том числе и с точки зрения оценки опасности для Земли и проектирования методов ее защиты, важным является изучение физико-химических параметров астероидов, выделенных в качестве вероятных родительских тел наблюдаемых метеорных потоков и болидов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соколова М.Г., Сергиенко М.В. Астероиды, сближающиеся с Землей, как возможные родительские тела метеорных потоков // Учёные записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2017. – Т. 159. – Кн. 1 (в печати).
2. Drummond J. D. A test of comet and meteor shower associations // Icarus. – 1981. – Vol. 45. – P. 545-553.
3. Kholshchikov, K. V. Metrics in the space of orbits and their application to searching for celestial objects of common origin // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. / ed. by G. I. Kokhirova, P. B. Babadzhanyan, U. H. Khamroev – 2016. – Vol. 462. – Issue 2. – P. 2275 – 2283.

# ЗАДАЧА ПОСТРОЕНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ ИЗБРАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛУННОГО РЕЛЬЕФА

**А.А. Семенов, Ч.Р. Мухаметшин, М.И. Шпекин**

*Казанский Федеральный Университет, г. Казань, Россия, rulliikk@gmail.com*

**Научный руководитель: М.И. Шпекин, к.ф.-м.н.**

*MichaelS1@yandex.ru*

Геометрические и физические свойства поверхности Луны уже давно изучаются на основе фотограмметрии ее фотоснимков. Если съемка с наземных телескопов была нацелена на исследование видимого полушария, то орбитальные методы открыли для исследователей всю лунную территорию, включая краевую зону и обратную сторону. Фотограмметрия наземных снимков, а также первых орбитальных изображений в силу ряда обстоятельств была связана в основном с построением дискретных моделей лунной поверхности. С появлением орбитальных снимков высокого разрешения, а также с развитием цифровых технологий появилась возможность приступить к созданию полномасштабных пространственных моделей лунной территории. В докладе рассмотрены свойства орбитальных снимков лунной поверхности, а также их влияние на параметры трехмерных моделей.

В качестве исходных данных для построения моделей выбраны орбитальные снимки обратной стороны Луны в районе ударных кратеров Циолковский и Эйткен. Все использованные снимки выполнены на фотопленке и доставлены на Землю. Снимки с борта космического корабля «Зонд-8» доставлены в спускаемом аппарате, а снимки с кораблей «Аполлон-15» и «Аполлон-17» - их экипажами. Изображения на фотопленке были оцифрованы на фотограмметрическом сканере и преобразованы в графические файлы. Оцифрованные снимки «Зонда-8» покрывают район кратера Эйткен и его окрестности, а снимки «Аполлонов» покрывают оба кратера. В силу значительных размеров широкоформатной пленки, а также высокого разрешения при сканировании файлы оцифрованных изображений получаются большими. «Зондовские» снимки в оцифрованном виде представляют файлы размером 600-800 мегабайт на один кадр, а снимки «Аполлонов» - файлы размером 1200-1300 мегабайт на один кадр.

Для построения моделей была выбрана компьютерная программа «Agisoft Photoscan» разработанная в Санкт-Петербурге для фотограмметрии аэрофотоснимков. Разработчики программы положили в ее основу алгоритмы и методы фотограмметрии и компьютерного зрения, что позволило быстро и эффективно создавать детальные пространственные модели участков земной суши, зданий и сооружений. Наша задача состояла прежде всего, в том, чтобы посмотреть как поведет себя программа при анализе оцифрованных снимков Луны, описанных выше. Как скажутся на результатах условия освещения сцены (в терминах 3D-моделирования), и в частности, характер распространения света в отсутствии полутеней. Каким образом следует выбирать точки на орбите, в пределах которой перемещается съемочная камера. Как влияет разрешающая способность снимков, составляющих модель, на объем и плотность облака в процессе построения модели. Каковы затраты машинного времени при создании 3D-моделей. И, наконец, какого качества модель получается в итоге.

В докладе представлены результаты перечисленных исследований. Авторы доклада выбрали для этих целей несколько элементов лунного рельефа характерных для ударных кратеров. Это центральные горки кратеров Эйткен и Циолковский, наиболее интересные участки днища кратеров, а также фрагменты выброса материала в процессе кратерообразования.

Важный результат состоит также в том, что, как показал опыт, для решения задачи 3D-моделирования требуется высокопроизводительный компьютер, типа персонального суперкомпьютера, даже если моделируется всего один кратер.

# ИЗУЧЕНИЕ ФРОНТОВ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ ПРИБОРОМ БМСВ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ

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

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия,*

*sapunova\_olga@mail.ru*

Была исследована 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. Значения магнитного поля были взяты со спутников WIND, THEMIS-B/-C, CLUSTER C1-4.

Показано, что толщина фронта МУВ лежит в пределах от 40 км до 600 км. В некоторых событиях сравнение толщины фронта по плазме и по магнитному полю дало разницу по порядку величины. Во многих событиях наблюдались колебания, опережающие фронт МУВ (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%.

Для нескольких случаев построены годографы поведения векторов магнитного поля и потока в период колебаний в проекции на фронт МУВ или на плоскость, перпендикулярную среднему значению параметра. Определена поляризация колебаний.

# ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТОКОВЫХ СЛОЕВ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ

**А.А. Виноградов<sup>1</sup>, И.Ю. Васько<sup>2,3</sup>, Е.В. Юшков<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, г. Москва, Россия, ISashaVinogradov@gmail.com

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

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

**Научный руководитель: И.Ю. Васько, к.ф-м.н; Е.В. Юшков, к.ф-м.н**

Токовые слои в солнечном ветре — структуры, определяющие диссипацию магнитной энергии в тепловую энергию частиц. В настоящей работе собрана статистика более чем 100 пересечений токовых слоев в солнечном ветре на аппарате Cluster. Проведено сравнение различных методов оценки плотности тока (метод курлометр и тайминг) и ориентации токового слоя (метод MVA и тайминг). Показано, что метод тайминг является более предпочтительным с точки зрения оценки плотности тока, тогда как метод MVA и тайминг дают согласующиеся оценки ориентации токового слоя. Показано, что большинство токовых слоев имеет бессиловую конфигурацию, т.е. плазменный ток направлен вдоль магнитного поля. В то же время в отличие от тангенциальных разрывов имеется ненулевая компонента магнитного поля перпендикулярная нейтральной плоскости токового слоя. Проведено сравнение структуры наблюдаемых токовых слоев с теоретическими моделями.

# НАБЛЮДЕНИЕ ПОТОКОВ НАДТЕПЛОВЫХ ИОНОВ ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ ГРАНИЦЫ МАГНИТОСФЕРЫ МАРСА

**С.Д. Шувалов, А.С. Знобищев**

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

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

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

Нами проанализировано событие 4 января 2015 года 18:30:00 UT, в процессе которого аппарат MAVEN попал из магнитосферы Марса в область обтекающего потока. Непосредственно перед пересечением границы был зарегистрирован ряд пучков надтепловых ( $\sim 10^3$  эВ) ионов  $H^+$ ,  $O^+$ ,  $O_2^+$ , диспергированных по энергии; причем дисперсия в пучках наблюдается от больших энергий к меньшим.

В данном сообщении мы анализируем характеристики магнитного поля и данных ионов, в том числе их функции распределения по скоростям, а также нестационарный характер потока вблизи границы магнитосферы Марса. Анализ этих данных позволяет исследовать механизмы захвата планетарных ионов обтекающим потоком солнечного ветра, процессы, ранее обнаруженные и исследованные на Советских спутниках Марса.

# ВОЛНОВЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ У ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ ПРИ ЕЁ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ХВОСТОМ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

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

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

<sup>2</sup>*МФТИ (ГУ), г. Долгопрудный, Россия*

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

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

*МФТИ (ГУ), г. Долгопрудный, Россия*

Представлено описание волновых процессов при взаимодействии хвоста магнитосферы Земли с пылевой плазмой у поверхности Луны, которая включает в себя фотоэлектроны, электроны и ионы солнечного ветра, электроны и ионы хвоста магнитосферы Земли, нейтралы и заряженные пылевые частицы. Показано, что возбуждение волн возможно для параметров фотоэлектронов, характеризующихся квантовым выходом лунного реголита из работы [1]. Ионно-звуковые волны возбуждаются в областях магнитного переходного и/или пограничного слоев магнитосферы в результате развития линейной гидродинамической неустойчивости, тогда как генерация пылевых звуковых волн обусловлена развитием линейной кинетической неустойчивости во всей области взаимодействия хвоста магнитосферы с пылевой плазмой у Луны. В обеих ситуациях развитие неустойчивостей обусловлено относительным движением ионов магнитосферы и заряженных пылевых частиц. Исследованы процессы развития ионно-звуковой и пылевой звуковой турбулентности. Ионно-звуковая турбулентность рассматривается с позиций сильной турбулентности, тогда как для описания пылевой звуковой турбулентности используется теория слабой турбулентности. Для случаев ионно-звуковой и пылевой звуковой турбулентности определены плотности энергии колебаний, эффективные частоты столкновений, а также возникающие в системе электрические поля. Оказывается, что при развитии ионно-звуковой турбулентности в плазменно-пылевой системе у Луны могут возбуждаться электрические поля, несколько меньшие электрических полей у поверхности Луны, возникающих в процессе зарядки её поверхности при взаимодействии Луны с солнечным излучением, но, тем не менее, вполне значимые для установления адекватной картины электрических полей над Луной. Полученные эффективные частоты столкновений следует учитывать при записи гидродинамических уравнений для ионов пылевой плазмы с учетом её турбулентного нагрева [2].

Работа выполнена по Программе № 7 фундаментальных исследований Президиума РАН “Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звезд”, по Программе Международного института по космическим наукам (International Space Science Institute) “Dusty Plasma Effects in the System Earth-Moon”, а также при поддержке РФФИ (проект № 15-02-05627-а).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Willis, R.F., Anderegg, M., Feuerbacher, B., Fitton, B., in: Photon and Particle Interactions With Surfaces in Space, ed. by R.J.L. Garard, D.Reidel, Dordrecht (1973), p. 389
2. Морозова Т.И., С.И. Копнин, С.И. Попель. Волновые процессы в пылевой плазме у поверхности Луны // Физика плазмы. – 2015, Т. 41, № 10, с. 867– 876

# ВТОРИЧНЫЙ МЕЖЗВЕЗДНЫЙ НЕЙТРАЛЬНЫЙ КИСЛОРОД В ГЕЛИОСФЕРЕ: КИНЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМИ КА IBEX

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

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований

Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

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

<sup>3</sup>Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва, Россия, [balyukin.ii@gmail.com](mailto:balyukin.ii@gmail.com)

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

ФГБУН Институт космических исследований

Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

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.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Izmodenov V.V., Yu.G. Malama, R. Lallement, Interstellar neutral oxygen in a two-shock heliosphere, 1997, *Astronomy & Astrophysics*
2. Izmodenov V.V., R. Lallement, J. Geiss, Interstellar oxygen in the heliospheric interface: influence of electron impact ionization, 1999, *Astronomy & Astrophysics*
3. Izmodenov V., Y. Malama, G. Gloeckler, J. Geiss, Filtration of interstellar H, O, N atoms through the heliospheric interface: Inferences on local interstellar abundances of the elements, 2004, *Astronomy & Astrophysics*
4. Izmodenov V.V., D.B. Alexashov, Three-dimensional Kinetic-MHD Model of the Global Heliosphere with the Heliopause-surface Fitting, 2015, *ApJS*
5. Park J. et al., Statistical analysis of the heavy neutral atoms measured by IBEX, 2015, *ApJS*

# ОПИСАНИЕ ТИПА ПЛАЗМЕННОГО ХВОСТА КОМЕТ: ТОНКИЙ ОДНОРОДНЫЙ ХВОСТ НЕИЗМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

**Е.Р. Моженков, О.Л. Вайсберг**

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, egormoz@mail.ru*

Известно, что один из двух основных типов кометных хвостов, а именно, плазменный хвост, имеет множество типов. Известно, что плазменный хвост комет образуются из плазменной комы кометы при увлечении ионов потоком солнечного ветра. Разными исследователями были предложены свои классификации этих хвостов. Мы ранее предложили классификацию, и объяснение одной из форм хвоста, основываясь на его сходстве с плазменными хвостами Венеры и Марса.

В данной работе мы предлагаем объяснение происхождения одного необычного типа хвостов комет, который, в отличие от большинства кометных хвостов имеет весьма однородную структуру и, практически, не изменяет свою ширину на большом расстоянии от головы кометы. Такой хвост возникает тогда, когда газовыделение кометы достаточно мало и не приводит к образованию настолько большой плазменной комы, что образуется оболочка, в которой кометные ионы преобладают. К таким хвостам относятся хвосты Марса, Венеры и больших комет.

Проведенный нами расчет показал, что тонкий ламинарный хвост кометы образуется тогда, когда величина газовыделения кометы находится ниже того порога, когда образуется плотная плазменная кома, достаточная для образования препятствия потоку солнечного ветра. На примере кометы XXX мы показываем, что ее газовыделение в период образования тонкого ламинарного хвоста как раз находится на расчетном пределе образования плотной кометной комы. В таком хвосте кометные ионы образуют примесь к плазме солнечного ветра, существенно не изменяя его поток.



# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКОВОГО СЛОЯ В МАГНИТОСФЕРНОМ ХВОСТЕ ЗЕМЛИ

**И.А. Кочетов<sup>1</sup>, В.Ю. Попов<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Физический факультет Московского Государственного Университета,  
г. Москва, Россия, kochetov.ilija@physics.msu.ru*

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

Данная работа посвящена моделированию токового слоя в магнитосферном хвосте Земли. Как известно, из-за обтекания собственного магнитного поля Земли солнечным ветром на ночной стороне (в направлении от Земли) образуется вытянутая магнитная конфигурация. Следы хвостовой структуры с токовым слоем и противоположно направленными магнитными полями обнаруживаются на расстояниях порядка шестидесяти земных радиусов. В поперечном сечении плазменный слой имеет в центре меньшую толщину, чем по краям. Интерес представляют области, расположенные в областях с уширением, граничащих с магнитопаузой.

Непосредственной целью данной работы является моделирование плазмоида, который образуется в начале магнитосферного хвоста (на расстояниях от 5 до 10 земных радиусов). Моделирование траекторий частиц показывает, что они скапливаются в данной области и образуют плазоид. В перспективе планируется визуализировать следующие явления: во время магнитных бур и суббур магнитосферный хвост утончается, а плазоид может оторваться и начать дрейфовать в направлении от Земли.

# ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЙ НА СОСТОЯНИЕ ИОНОСФЕРЫ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

**М.А. Титова**<sup>1,3</sup>, **В.И. Захаров**<sup>2</sup>, **А.А. Чернышов**<sup>1</sup>, **М.М. Могилевский**<sup>1</sup>,  
**В. Милош**<sup>4</sup>, **Jin Ya**<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, e-mail:marititova@yandex.ru

<sup>2</sup>МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>ФГБУ Науки ИЗМИРАН, г. Москва, г.Троицк, Россия

<sup>4</sup>University of Oslo, Oslo, Norway

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

Ионосфера, как часть атмосферы, является индикатором различных динамических процессов в системе геосфер. Важным фактором, влияющим на ионосферу, является солнечная активность и изменение магнитного поля Земли, именно поэтому в ионосфере обычно наблюдают суперпозицию волновых возмущений от разных источников – как наземных, так и атмосферных или космических. В работе на основе применения метода GPS-радиоинтерферометрии рассмотрены результаты регионального мониторинга верхней ионосферы и проведен комплексный региональный анализ данных наземных наблюдательных станций сети IGS (International GPS Service) и одной станции, относящийся к Университету Осло, причем все рассмотренные приемники расположены выше 60° северной широты. Основными исследуемыми параметрами являются потери фазы и псевдодалности, а также резких скачков (колебаний) значений полного электронного содержания (ПЭС). Также рассматривается взаимосвязь появления сбоев параметров навигационного сигнала системы GPS, как отклика на возмущенное состояние ионосферы, и оптической компоненты вторжения высокоэнергетических частиц в зоне аврорального овала, зафиксированного по данным all-sky камеры. Получены количественные оценки влияния геомагнитной суббури на сбой навигационных параметров. Вероятность сбоев по ПЭС значительно выше, чем сбоев фазы, и она растет во время геомагнитной суббури. В данном исследовании показано, что скачки в скорости изменения, полученного по фазовым измерениям, превосходят регулярную изменчивость высокоширотной ионосферы. Сравнение результатов с оптическими данными так же подтверждает отклик на возмущенное состояние полярной ионосферы. Основной причиной потери фазы и псевдодалностей является поглощение сигнала GPS в ионосфере, что, скорее всего, является показателем авроральных высыпаний высокоэнергетических заряженных частиц.

# РАДИАЦИОННАЯ ОПАСНОСТЬ В МОМЕНТ ИНВЕРСИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

О.О. Царева<sup>1</sup>, В.Ю. Попов<sup>1,2,3</sup>, Е.П. Попова<sup>4</sup>, Х.В. Малова<sup>4,1</sup>, М.В. Подзолко<sup>4</sup>, Л.М. Зеленый<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Физический факультет МГУ, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Финансовый Университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

<sup>4</sup>НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, [olga8.92@mail.ru](mailto:olga8.92@mail.ru)

Сегодня исследователи сходятся во мнении, что человечество, возможно, переживает период начала очередного цикла магнитного динамо в ядре Земли, приводящего к смене знаков магнитных полюсов. По этой причине в настоящей работе исследованы инверсия магнитного поля Земли и её воздействие на радиационную обстановку на поверхности планеты.

Для описания магнитного поля, представляющего собой суперпозицию диполя и квадруполья, был использован общепринятый ряд Гаусса. Проведенная экстраполяция во времени всех компонент поля показала, что старший коэффициент дипольного поля может обратиться в нуль примерно в 3600-ом году. Таким образом, в момент инверсии напряженность диполя уменьшится, предположительно, раз в 10, а напряженность квадруполья сохранит значение близкое к сегодняшнему.

Поскольку частицы ГКЛ являются более высокоэнергичными, в сравнении с СКЛ, и основную их долю составляют протоны, то сильнейшее поражающее действие на живые организмы оказывают потоки протонов ГКЛ и производные их распадов (в атмосфере).

Средние дифференциальные спектры протонов ГКЛ вне магнитосферы известны благодаря аналитической модели Р.А. Ныммика. Трассируя протоны по заданному энергетическому распределению на 12R от Земли в сегодняшнем и инверсионном магнитных полях, получаем новые спектры на разных расстояниях, в частности, на поверхности Земли и на орбите МКС. С помощью этих спектров, находим средние мощности эффективных доз, позволяющие оценить рост радиационной опасности для людей.

# **ELECTROMAGNETIC ULF WAVE ENERGY LEAKAGE THROUGH THE IONOSPHERE AS OBSERVED BY LOW-ORBITING SATELLITES SWARM**

**I.S. Zelikson, V.A. Pilipenko**

*Institute of the Earth Physics, Moscow, Russia, sellestiale@gmail.com*

We study the transmission of ULF waves in the band Pc3/Pi2 through the ionosphere to the ground. For that the synchronous data from low-orbiting satellites SWARM and ground magnetometer arrays AMBER have been used. The analysis of combined satellite/ground observations gives a possibility to reveal a physical nature of Pc3 and Pi2 waves in the upper ionosphere.

# УЛЬТРАНИЗКОЧАСТОТНЫЕ КОМПРЕССИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В МАГНИТОСФЕРЕ. АНАЛИЗ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ THEMIS

**А.В. Рубцов<sup>1,2</sup>, Д.Ю. Климушкин<sup>2</sup>, П.Н. Магер<sup>2</sup>, Д.А. Чуйко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Физический факультет ИГУ, г. Иркутск, Россия, avrubcov@mail.ru*

<sup>2</sup>*ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия*

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

*ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия*

Исследована компрессионная пульсация Pc5 со значительной полоидальной компонентой, обнаруженная в данных спутниковой системы THEMIS. Были построены динамические спектры и вычислены параметры пульсации, определены параметры среды. По найденным параметрам среды была смоделирована частота фундаментальной гармоники стоячей альфвеновской волны. Было показано, что наблюдаемая частота пульсации близка к альфвеновской частоте. Таким образом, сделан вывод, что наблюдаемая волна является альфвеновской. Данная работа частично поддержана грантом РФФИ № 16-05-00254.

**КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ  
И ЭКСПЕРИМЕНТ**

# ХАРАКТЕРИСТИКИ 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>,  
Б.Т. Каримов<sup>2</sup>, Н.И. Мухуров<sup>1</sup>**

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

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

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

ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», г. Минск,  
Республика Беларусь

Представлены результаты испытаний селективирующих элементов датчиков потока ионов на механические воздействия синусоидальной вибрации и на воздействия изменения температуры. В качестве элементов были использованы сеточные металлические структуры, полученные гальваническим осаждением никеля в сформированные методом фотолитографии матрицы из анодного оксида алюминия [1,2]. Процесс изготовления включал последовательность следующих операций: подготовку алюминия, выращивание пористого анодного оксида алюминия, формирование на поверхности оксида фоторезистивной маски для получения шаблона, электрохимическое осаждение никеля в шаблон и отделение никелевой структуры. Толщина витков сетки составляла 15-20 мкм, размер ячейки 1×1 мм<sup>2</sup> при ширине витков 15-20 мкм, точность выполнения не хуже 0,5 мкм, прозрачность сетки выше 90%. Диаметры рабочего поля селективирующих элементов составляли 34, 47 и 73 мм с количеством ячеек 907, 1734 и 4185 штук соответственно.

При проведении испытаний фиксировались такие показатели как целостность и провисание ячеек, степень кручения линейных составляющих, правильность формы контура ячеек. Степень провисания измерялась в % от размера ячейки и характеризовалась как: малая, средняя и большая. Скрученность линейных составляющих определялась малой ( $\leq 30^\circ$ ), средней ( $\leq 60^\circ$ ) и большой ( $\leq 90^\circ$ ) степенями. Форма ячеек различалась незначительным, малым и большим отклонениями от «строго» квадратной формы.

Испытания на механические воздействия синусоидальной вибрации проводили на вибростенде при амплитуде ускорений 2g и частоте в диапазоне от 2 до 30 Гц по трем взаимно-перпендикулярным осям в течение 30 мин. по каждой оси. Нарушение правильности формы контуров ячеек, кручение линейных составляющих ячеек, а также провисания и волнистости сетки по всему полю не наблюдалось. Установлено нарушение целостности единичных ячеек и среднее провисание от 1 до 6 ячеек в сетках с большими диаметрами.

После испытания на воздействие температуры в диапазоне (от -50 до +150 °С) установлено нарушение целостности от 2 до 19 ячеек в сетках с различным диаметром, малое провисание до 12 ячеек, наличие малой степени кручения линейных составляющих от 4 до 9 ячеек и незначительное нарушение правильности формы контура от 6 до 16 ячеек. Очень малое и малое провисание по всему полю во всех сетках и незначительная волнистость по всему полю сетки с диаметром 73 мм.

Полученные селективирующие элементы могут быть использованы в датчиках потока ионов в диапазоне температур от -50 до +150 °С и диапазоне частот от 2 до 30 Гц при синусоидальной вибрации. Результаты испытаний установлено незначительное количество ячеек (до 1% от общего числа ячеек), в которых наблюдалось изменение показателей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Андрухович И.М., Бородкова Н.Л., Гасенкова И.В., Застенкер Г.Н., Мухуров Н.И. Селективирующие элементы для датчиков потока плазмы // Фундаментальные и прикладные космические исследования / XII конференция молодых ученых. Москва, 2015. – С. 6.

# ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ СКАЛЬПЕЛЬ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ

**В.О. Лебедева**

*МБОУ «Гимназия №5», Московская обл., г. Королёв, Россия, lvalery14@mail.ru*

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

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

Электроискровой разряд – это неустановившийся быстротечный электрический разряд [1]. Он происходит, если напряжённость поля достигает значения пробоя. Стримерная теория объясняет движение заряженных частиц по узким каналам ионизированного газа. Один из способов управления искровым разрядом предложен Г.К.Лихтенбергом в 1777 году [2]. Этот способ применялся учёным исключительно для наблюдения образования стримеров и связан со стелющимся электроискровым разрядом на границе твёрдого диэлектрика [1]. Цель работы заключается в управлении движением искрового разряда с помощью твёрдых диэлектрических материалов специальной формы. Работа началась с изучения явления раздвоения дуги искрового разряда [3,4]. Продолжение работы заключалось в целенаправленном движении искрового разряда по диэлектрику [5,6,7]. Правильность результатов была проверена на отладочном диэлектрике с прямым двугранным углом. На поверхностях сложной формы разряд движется по геодезическим линиям. Практическое применение результатов заключается в создании электроискрового скальпеля для медицины, особенно космической. Работой также заинтересовались специалисты в области защиты зданий и сооружений от молний. Работа вызвала интерес у машиностроителей [8].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М.Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – 928 с. – Ил. – С.234.
2. Храмов Ю.А. Лихтенберггерг Георг Кристоф (Lichtenberg Georg Christoph) // Физики: Биографический справочник / Под ред. А.И.Ахиезера (в переводе) — Изд. 2-е, испр. и дополн. — М.: Наука, 1983. — С. 166. — 400 с.
3. Баракова М.А. Раздвоение токоведущего канала в дуговом разряде / 2-я Всероссийская Интернет-конференция «Грани науки – 2 (2013)». – Казанский (Приволжский) федеральный университет. – Эл. ресурс: <http://grani2.kznscience.ru/participants/sekcija4/BarakovaMA/>
4. Лебедева В.О. Раздвоение электроискровой дуги – иллюзия или реальность. – Доклад на конференции Intel-Авангард. – Москва, Вороново, Московский лицей 1303, февраль 2016 г.
5. Лебедева В.О. Диэлектрические материалы для управления электроискровыми разрядами / II Международная школа-конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Биомедицина, материалы и технологии XXI века». – Казанский (Приволжский) федеральный университет, 20-23 сентября 2016 г. – Электронный ресурс: <http://www.mt21kpfu.com/> – Диплом «За лучший доклад».
6. Лебедева В.О. Управление движением дуги в электроискровом скальпеле / X Всероссийский форум студентов аспирантов и молодых учёных «Наука и инновации в технических университетах». – СПб, 24-29 октября 2016. – Диплом «За лучший секционный доклад». – Электронный ресурс: <http://ysc.spbstu.ru/forum2016/Program2016.pdf>.
7. Лебедева В.О. Сжатие электроискрового разряда атмосферой и внешним диэлектриком / 59-я Всероссийская научная конференция МФТИ с международным участием, 21-26 ноября 2016 г. – Доклад 1494. – Электронный ресурс: <http://conf59.mipt.ru/ru/info/general/>
8. Лебедева В.О. Практическое применение нелинейности движения электроискрового разряда / 28-я Инновационно-ориентированная конференция молодых учёных и студентов МИКМУС-2016. Материалы конференции (программа, аннотации докладов). – М.: Институт Машиноведения им. А.А.Благонравова РАН (ИМаш РАН), 7-9 декабря 2016. – с.104. – Электронный ресурс: [http://www.mikmus.ru/opendocs/MIKMUS-2016/Pr\\_16\\_sait.pdf](http://www.mikmus.ru/opendocs/MIKMUS-2016/Pr_16_sait.pdf).



# ФИЗИЧЕСКИЙ МАКЕТ СПЕКТРОМЕТРА ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ

**С.Д. Шувалов, Д.А. Моисеенко, М.И. Маркичев, А.Ю. Шестаков, Р.Н. Журавлёв, В.Н. Ермаков**

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

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

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

Важной задачей физики полярных сияний и исследований процессов, сопровождающих их вклад в энергетику верхней атмосферы, являются измерения вторгающегося в верхнюю атмосферу спектра и потока энергии заряженных частиц, который может быть наиболее корректно оценен при одновременных измерениях потока из магнитосферы в верхнюю атмосферу и рассеянного в верхней атмосфере обратного потока ионов и нейтральных атомов.

В рамках решения этой задачи является актуальной проблема создания космического прибора для быстрого измерения энергетических спектров потоков электронов, выпадающих из магнитосферы в верхнюю атмосферу. Большая скорость орбитального движения спутника на высотах (~8 км/с), обеспечивающих проведение подобных измерений (~600-800 км), обуславливает необходимость высокой чувствительности устройства.

Настоящий проект предусматривает разработку компьютерной модели такого прибора, а также создание его физического макета с последующими лабораторными испытаниями.

По состоянию на данный момент времени разработана электронно-оптическая схема устройства, а также выпущена конструкторская документация. Разработанная модель имеет следующие характеристики: угол зрения прибора составляет  $5^\circ \times 5^\circ$ , диапазон измеряемых энергий - 1-10 КэВ, чувствительность прибора обеспечивает регистрацию спектров с частотой 10 Гц при величине потока частиц не менее  $10^7 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Работа проводится при поддержке Гранта РФФИ № 16-32-00746.

# АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОГО ЧАСТОТНОГО СКАНИРОВАНИЯ В РЕЛАКСАЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ

**А.М. Богачев, Н.Н. Пономарев**

*ФГБОУ ВО Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия, bogachev-al2012@yandex.ru*

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

*ФГБОУ ВО Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия,*

Релаксационные методы исследования качества полупроводниковой электронной компонентной базы (ЭКБ) имеют реальные перспективы применения для входного контроля и индивидуального прогнозирования надежности ЭКБ ответственного назначения, поскольку они основаны на методах релаксационной (нестационарной) спектроскопии глубоких уровней (РСГУ) (Deep-Level Transient Spectroscopy – DLTS). Эти методы направлены на идентификацию и определение параметров скрытых дефектов различной природы в структурах полупроводниковой ЭКБ, которые трудно выявить другими способами.

В докладе излагаются инженерные аспекты программно-аппаратной модернизации спектрометра глубоких уровней DLS-82E фирмы Semilab, Венгрия, направленные на повышение точности определения параметров глубоких энергетических уровней (глубоких центров) в запрещенной зоне полупроводника. Известно, что во многих случаях именно наличие относительно небольшой концентрации глубоких центров того или иного типа придает полупроводниковой структуре желаемые или, наоборот, нежелательные свойства. При исследованиях современных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем методами РСГУ исследователи сталкиваются с проблемой регистрации сигналов релаксации емкости и других параметров полупроводниковых барьерных структур, которые на один-два порядка слабее уровня инструментальных шумов.

Измерительно-вычислительные комплексы РСГУ академических лабораторий, работающих в области физики полупроводников, освобождают исследователей от решения этой проблемы с помощью специально изготовленных образцов больших размеров, обеспечивающих получение мощного сигнала релаксации по сравнению с шумами, поэтому их использование в микроэлектронике затруднительно. Разработка фирмы Semilab ориентирована на использование корреляционной обработки слабых релаксационных сигналов, что делает ее потенциально пригодной для работы с барьерными структурами малых размеров.

В процессе эксплуатации спектрометра DLS-82E под управлением персонального компьютера на кафедре «Биомедицинские и электронные средства и технологии» ВлГУ родилась идея использования опции частотного сканирования при постоянной температуре в измерительном режиме в то время, как основным способом в РСГУ считается температурное сканирование при постоянной частоте следования импульсного стрессового воздействия.

Для реализации нового подхода к релаксационным измерениям был разработан и изготовлен синтезатор опорных частот с управлением от персонального компьютера, а также аппаратный имитатор релаксационных сигналов, что позволило осуществить адаптивные измерения с дополнительным учетом точного значения температуры образца и нелинейности аналогового перемножителя в составе узла корреляционной обработки.

Обсуждаются сравнительные результаты оценки точности адаптивного измерения энергии активации глубоких уровней на примере маломощных импульсных кремниевых диодов, легированных золотом для повышения быстродействия.

# МЕТОДИКА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ СНЯТИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**А.В. Кононистов**

*Акционерное общество «Златоустовский машиностроительный завод»,  
Челябинская обл., г.Златоуст, Россия, kononistovav@gmail.com*

Значительная часть сварных металлоконструкций, применяемых в ракетно-космической отрасли эксплуатируется в условиях повышенной нагрузки. Свойства металлических конструкций, в первую очередь, зависят от создаваемой структуры сварных соединений. Одной из основных проблем, возникающих при вводе в эксплуатацию высоконагруженных сварных конструкций, является проблема снятия остаточных напряжений в таких конструкциях.

В научной работе рассмотрены основные методы снятия остаточных напряжений в сварных конструкциях. Наиболее эффективным и низко-энергозатратным из них является метод вибрационной обработки (искусственного старения). В свою очередь, современные устройства, выполняющие вибрационную обработку после сварки, являются не универсальными, в связи с тем, что для управления процессом вибрационной обработки необходимо управлять собственными формами колебаний и создавать зоны пучности на участках конструкции, где снижение уровня и неоднородности остаточных напряжений наиболее важно.

Цель работы - разработка нового способа возбуждения колебаний, и устройства на его основе, предназначенных для расширения технологических возможностей существующих способов возбуждения колебаний, применяемых в процессах вибрационной обработки ответственных сварных конструкций, используемых в ракетно-космической отрасли. В основе разработанного способа возбуждения колебаний в виброприводах лежит принцип самосинхронизации роторных механических систем. Этот принцип широко используется в вибромашинах для улучшения их технологических характеристик.

Способ возбуждения колебаний, заключающийся в том, что по крайней мере два тела вращения сопрягают с контртелом, затем эти тела посредством жесткой кинематической связи с одинаковыми угловыми скоростями одновременно обкатывают по их собственным замкнутым траекториям, каждая из которых имеет поворотную симметрию вокруг оси симметрии своей траектории, отличающийся тем, что одновременно на них воздействуют неуравновешенной радиальной силой и постоянно меняют её направление с частотой вращения этих тел, при этом суммарной амплитудой колебаний управляют по соотношению:

Таким образом, новый способ возбуждения колебаний позволяет более полно, в отличие от аналогов, использовать энергию колебаний, за счет работы системы в резонансном режиме, а так же управлять процессом вибрационной обработки сварных конструкций посредством управления собственными формами колебаний. На базе разработанного способа было спроектировано универсальное устройство для снятия остаточных напряжений после сварки, которое отличается от аналогов низкой энергозатратностью, обусловленной постоянной работой системы в резонансном режиме, возможностью управления формой колебаний и универсальностью, т.е. возможностью обработки конструкций с разными массогабаритными параметрами.

Для поддержания технологических параметров устройства, была разработана система управления процессом вибрационной обработки (АСМ). Ее преимущество в том, что она включает в себя сбор у вибропривода параметрической информации, ее автоматическую обработку и поднастройку устойчивой синхронной работы системы посредством электрической обратной связи. Это достигается за счет того, что последняя непосредственно электрически интегрирована в систему виброприводов. Для функционирования АСМ разработана специальная программа для ЭВМ (свидетельство о гос. рег. программы

для ЭВМ №2014660855 от 20.08.2014г.). Расчет теоретических режимов колебаний вибропривода выполняется программными средствами (свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ №2015615192 от 13.05.2015г.)

Разработанная система управления отличается от известных тем, что позволяет производить мониторинг вибраций, возбуждаемых виброприводом, посредством измерения частоты вращения самосинхронизирующихся электроприводов, а затем, после настройки, автоматически поддерживать требуемый режим своей работы. На ряду с разработанным устройством снятия остаточных напряжений, предлагаемая система позволяет даже контролировать работу принципиально новых приводов самовозбуждаемых колебаний, обладающих модулируемыми свойствами.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Блехман И.И. Синхронизация динамических систем / И.И. Блехман. – М.: Наука, 1971. – 896 с.

# ПОДХОД К АНАТОМИЧЕСКОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ МАНИПУЛЯТОРОВ АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**А.Е. Спирин<sup>1</sup>, М.В. Кондратенко<sup>2</sup>, К.А. Титов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Национальный исследовательский технологический университет (МИСиС), г. Москва, Россия, [inmin@misis.ru](mailto:inmin@misis.ru)

<sup>2</sup>ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина», Звездный городок, Московская область, Россия, [info\\_gctc@gctc.ru](mailto:info_gctc@gctc.ru)

**Научный руководитель: Б.В. Бурдин, к.т.н.**

ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина», Звездный городок, Московская область, Россия, [info\\_gctc@gctc.ru](mailto:info_gctc@gctc.ru)

Разработка антропоморфных робототехнических систем (АРТС) космического назначения является одним из ключевых направлений развития пилотируемой космонавтики.

Поскольку динамика восстановления адаптивных приспособительных реакций человека при перемене гравитационной среды при полётах в глубокий космос и посадке на космических объектах не известна, то создаваемые искусственные аналоги органов человека должны параметризоваться как с дистальными частями конечностей, так и с человеко-машинным интерфейсом.

В работе рассмотрены особенности применения манипуляторов АРТС и метрологические подходы к определению требований к системе контроля и измерения параметров исполнительного комплекса – манипулятора АРТС (геометрии, кинематики, силовых характеристик и систем управления) для виртуального стенда и натурного макета. При этом критерием оптимальной работы образующейся при этом биомеханической системы являлся контроль соответствия номинальных (заданных) значений оператором АРТС фактическим значениям, реализованным исполнительным комплексом при выполнении технологических процессов.

Исследования параметров исполнительного комплекса проводились на моделях и макетах АРТС и системах виртуальной реальности (СВР, ВР), управляемых программно-аппаратными средствами и/или операторами в экзоскелетах (верхней поясной части экзоскелетов) с макетными манипуляторами пальцев кистей рук. Исследовалась общая и мелкая моторика, а также сенсомоторика.

Проведённые исследования позволили: Во-первых, смоделировать взаимокорреляцию сенсорных и моторных компонентов деятельности дистальной части верхних конечностей и выявить проблемы мелкой моторики. Во-вторых, выявить психофизиологические конфликты ВР, в частности, вызванные зрительно-вестибулярными расстройками из-за сенсомоторного рассогласования. В-третьих, определить пути решения анатомической параметризации, в частности, сформировать метрологические требования к системе контроля и измерений параметров комплекса АРТС-экзоскелет-СВР.

Определено, что для технической реализации решения задач подобию или копирования должны учитываться: решения прямой кинематической задачи, минимизирующей вычисления и оптимизирующей работу искусственного интеллекта и СВР в реальном пространственно-временном континууме; решения обратной кинематической задачи, определяющей положение сочленений по заданным положению и ориентации (декартовым координатам и углам Эйлера) характеристической точки рабочего органа, обеспечивающей совмещение систем координат математической модели АРТС и реального физического прототипа; а также, требования точного совмещения систем координат и соответствие параметров математической модели реальному роботу.

Таким образом, результаты исследований показывают, что техническая реализация комплекса АРТС-экзоскелет-СВР, определяемого совокупным взаимодействием человеко-машинного интерфейса, позволяет имитировать мир и окружающие его объекты, как воздействие, так и реакции на эти воздействия. При этом любые рассогласования или погрешности будут приводить к конфликту сенсорных и моторных функций.

# ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗБРОСОВ ПАРАМЕТРОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**Т.Ю. Пронин**

*ФГБОУ ВО Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия, [pronin\\_t\\_y@list.ru](mailto:pronin_t_y@list.ru), аспирант;*

*АО «Концерн Автоматика», г. Москва, Россия, инженер-конструктор*

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

*ФГБОУ ВО Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия, [v\\_p\\_krylov@vlsu.ru](mailto:v_p_krylov@vlsu.ru)*

Повышение точности моделирования и оценки вибропрочности электронных средств беспилотных космических аппаратов (ЭС КА) на этапе конструирования позволяет существенно снизить затраты на проведение отработочных испытаний конструкций на вибростенде. Программные комплексы компьютерного анализа (ANSYS, NASTRAN, ABAQUS и др.) за счет повышения размерности расчетных моделей (увеличения количества конечных элементов) потенциально способны обеспечить высокую точность расчетов при условии достоверности сведений о механических параметрах элементов конструкции, в частности, печатных платах, клеевых прослойках и т.п. Это особенно актуально при конструировании ячеек электронных средств на печатных платах с использованием дорогостоящей электронной компонентной базы, работающих на этапе выведения на орбиту в условиях механических нагрузок, близких к предельно допустимым.

Изготовители фольгированных диэлектриков (ламинатов), как правило, не имеют на выходном контроле средств измерения механических параметров, влияющих на собственные частоты резонанса и виброусиление (демпфирование) на этих частотах. Вместе с тем при изготовлении печатных плат, особенно многослойных, существуют предпосылки для технологического разброса указанных параметров. В основном эти предпосылки обусловлены нестационарным характером процесса полимеризации связующих компонентов, который в ряде случаев может продолжаться и после изготовления платы, например, при пайке или ремонтной замене отдельных компонентов.

В докладе рассматривается подход к оценке возможностей методики косвенного измерения указанных параметров с помощью решения обратных некорректных задач, использующих результаты экспериментальных исследований частотных характеристик печатных плат в рабочем диапазоне частот (до 2000 Гц). При этом в качестве эталона предлагается использовать комплект печатных плат от разных изготовителей и из разных партий. В основе предложенного подхода статистическая модель формирования линейных корреляционных связей между двумя сериями измерений, описанная в работах по факторному анализу. Эта модель предусматривает отказ от оценки абсолютных значений статистических характеристик технологической и измерительной погрешностей и определение отношения среднеквадратичных отклонений (с.к.о.) указанных погрешностей. Такой подход позволит, в частности, ответить на вопрос о влиянии термической обработки печатных плат на разброс механических характеристик ламинатов.

Экспериментальная апробация предложенного подхода выполнена на небольшой партии различных ламинатов, предоставленных фирмой Петрокоммерц. Из них были изготовлены образцы одинаковых размеров в плане (длина и ширина) с одинаковым расположением отверстий для крепления на оснастке вибростенда. Частотные характеристики были измерены дважды в ходе основной и повторной серии измерений. С помощью программы конечноэлементного моделирования осуществлена параметрическая идентификация модели реакции плат на синусоидальные вибрационные воздействия с последующей оценкой отношения с.к.о. технологической и измерительной погрешностей.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ СЕРТИФИКАЦИИ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

**А.А. Карсунцева**

*АО «Ракетно-космический центр «Прогресс», г. Самара, Россия,  
rusalka2608@mail.ru*

Для проведения работ по сертификации космической техники в нашей стране действует Федеральная система сертификации космической техники (ФСС КТ), прошедшей государственную регистрацию еще в 1995 году. За время существования данной системы действующие нормативные документы, а именно сборник руководящих документов ФСС КТ, корректировались лишь однажды в 2006 году. С тех пор законодательная система в области сертификации космической техники претерпела множества изменений. А также изменилось и отношение ГК «Роскосмос», как уполномоченного органа по космической деятельности, к значимости сертификации космической техники. В рамках своей компетенции Госкорпорация «Роскосмос» должна организовывать обязательное подтверждение соответствия космической техники научного и социально-экономического назначения.

В связи с этим, несмотря на то, что в законе «О техническом регулировании» Госкорпорация «Роскосмос» вправе издавать законодательные акты лишь рекомендательного характера, для подтверждения выполнения требований, установленных в государственных контрактах и в ТТЗ, ГК «Роскосмос» все чаще и строго настаивает на необходимости проведения сертификации космических систем (комплексов), закладывая данные требования еще на этапе ее (его) разработки.

Подробный анализ действующих требований ФСС КТ показал, что нет четкого представления и объема необходимых процедур для проведения сертификации космических систем или комплексов.

В данной работе разработана принципиально новая структура системы сертификации с учетом практического применения ее базовых принципов на примере начала работ по сертификации космического комплекса «Бион-М», запланированной к реализации до 2020 года. При совершенствовании модели сертификации космического комплекса на примере «Бион-М» проведено исследование возможностей совершенствования модели сертификации с помощью применения QFD- и FMEA-анализов.

Проведение расширенного QFD- и FMEA-анализов позволит учесть при изготовлении продукции производственные риски предприятия, а также выявить те технические характеристики продукции, которые необходимо проверить при сертификации, но которые не были определены как важные на этапе начала работ по сертификации.

# МАЛОРАКУРСНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ ИНДУЦИРОВАННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ БЛИЖНЕГО КОСМОСА

**К.С. Насонов**

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, г. Самара, Россия, kop4797@ya.ru*

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

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

Явление электролюминесценции, возбуждаемое переменными электромагнитными от радиоэлектронных элементов, обладает высокой информационной способностью о состоянии полупроводников, их p-n переходов и т.д. До настоящего времени регистрация индуцированного плазменного образования от исследуемого объекта осуществлялось в двумерных вариантах с помощью матричных детекторов.

Автором разработан метод трехмерной визуализации индуцированных плазменных объектов на основе малоракурсного томографического подхода. Данный способ позволяет реконструировать параметры плазменных объектов в виде действительно 3D изображений и представлять их как стереоскопические проекционные. Суть данного метода заключается в том, что излучение самосвещающегося плазменного объекта регистрируется как набор двумерных проекций в сферо-тангенциальной системе координат. Реконструкция, 3D распределений, например, интенсивности излучения, осуществляется с помощью малоракурсных томографических алгоритмов, на основе операций быстрой свёртки и обратного проецирования. Далее полученный трёхмерный массив, разбивается на ряд изопараметрических поверхностей, которые представляются в виде стереоскопических проекционных изображений.

Предложенный метод трехмерной визуализации индуцированных плазменных объектов на основе малоракурсного томографического подхода в условиях ближнего Космоса (низкие орбиты высотой  $(220 \div 270)$  км) позволяет получать высокоинформативные данные о влиянии солнечного, космического излучений на работоспособность бортовых радиоэлементов. Отличительной особенностью данного способа диагностики является то обстоятельство, что возможен анализ состояния элементов РЭА, находящихся во включённом состоянии.

Для реализации предложенного метода диагностики состояния бортовой аппаратуры разработан малогабаритный оптический томограф для наноспутника формата 3U CubeSat. Конструкция данного томографа представляет собой рабочую камеру, выполненную в виде усечённой трёхгранной пирамиды, заполненную инертным газом (аргон). В основании этой камеры располагают исследуемый радиоэлемент, помещенный в переменное электромагнитное поле (разность потенциалов 2 кВ, частота 20 000 Гц). Для регистрации свечения индуцированного плазменного образования возникающего вокруг исследуемого объекта используют четыре оптических малогабаритных микроскопа (формат матриц 640×480 элементов). Двумерные проекционные данные – изображения, сформированные каждым микроскопом в «данный» момент времени записываются в ОЗУ МПС предварительной обработки данных. Затем, из этих двумерных массивов извлекаются, путём прореживания, одномерные массивы – соответствующие одномерным проекциям и по каналу связи передаются в ЦУП. Вычислительные комплексы, установленные в ЦУПе, осуществляют восстановления двумерных массивов, производят доопределение недостающих двумерных проекционных данных на основе алгоритмов интерполяции в пространстве Фурье. После процедуры доопределения данных осуществляется собственно реконструкция искомым трёхмерных функциональных распределений. На заключительном этапе производится вычисление изопараметрических поверхностей и синтез стереоскопических изображений в проекционном виде.



# ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ СИГНАЛОВ, СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ИЗМЕРЕННОЙ РАЗНОСТИ ФАЗ ПРИ ФАЗОВОЙ ПЕЛЕНГАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А.О. Жуков<sup>1,2,3</sup>, И.Н. Валяев<sup>2,3,4</sup>, В.П. Коваленко<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Государственный астрономический институт имени Штернберга МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБНУ «Аналитический центр», г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт астрономии РАН, г. Москва, Россия

<sup>4</sup>Акционерное общество «Особое конструкторское бюро  
Московского энергетического института», г. Москва, Россия

Доклад посвящен новому методу измерения частоты широкополосных сигналов при фазовой пеленгации. Предложенный метод измерения частоты энергетического центра тяжести несимметричного спектра сигнала заключается в разделении спектра на две половины и их энергетическое сравнение, что обеспечивает орбитально-частотный мониторинг космического пространства корреляционно-фазовыми пеленгаторами с требуемыми точностью и оперативностью.

Для точного определения косинуса направляющего угла корреляционно-фазовый пеленгатор КФП должен измерять три параметра: величину базы (расстояние между разнесенными в пространстве антеннами), разность фаз сигналов, принятых этими антеннами и частоту пеленгуемого сигнала [1]. Специалисты АО «ОКБ МЭИ» разработали и поставили на пункт эксплуатации пять корреляционно-фазовых пеленгаторов.

Для обеспечения орбитально-частотного мониторинга космического пространства с помощью корреляционно-фазовых пеленгаторов типа «Ритм» необходимо определять частоту пеленгуемых сигналов с высокой точностью. Знание частоты пеленгуемого сигнала, которой соответствует измеренная разность фаз является необходимым условием для обеспечения высокой точности измерений. При работе с монохроматическими сигналами эта частота может быть достаточно просто измерена или ее значение априори известно. Для широкополосного сигнала задается центральная частота спектра, что является достаточным при условии симметричности спектра относительно центральной частоты. Спектры реальных сигналов, как правило, являются несимметричными, что объясняется нелинейностью модуляционных характеристик, амплитудно-частотными зависимостями параметров приемно-передающего тракта, среды и т.п. Предложен подход к решению задачи измерения частоты энергетического центра тяжести спектра сигнала, который заключается в разделении спектра сигнала на две половины и их энергетическое сравнение.

Показано, что частота широкополосного сигнала, соответствующая измеряемой фазе, является частотой энергетического центра тяжести спектра сигнала.

Суть подхода к измерению частоты энергетического центра тяжести спектра сигнала заключается в том, что производится разделение спектра сигнала на две половины и их энергетическое сравнение.

В предложенной реализации устройства измерений частоты используется симметричное гетеродинирование сигнала и обеспечивает большее быстродействие. В этом устройстве также используются два гетеродина, причем частота первого гетеродина ниже частоты сигнала, а частота второго – выше ее. Эти гетеродины выполнены в виде вилочных гетеродинов. Каждый из них формирует два сигнала, частоты которых имеют относительный разнос на малую величину. Так что первый гетеродин формирует сигналы с частотами  $f_1$  и  $f_2$ , а второй гетеродин – с частотами  $f_3$  и  $f_4$ . После преобразования в смесителях на промежуточную частоту, сигналы с прямым и перевернутым спектрами попарно суммируются и проходят разделительные фильтры нижних частот (аналогично рисунку 4). Затем производится корреляционная обработка этих сигналов, т.е. они перемножаются ( $X$ ) и усредняются узкополосными фильтрами (УФ1

и УФ2). Узкополосные фильтры настроены на разные частоты, а именно УФ1 настроен на частоту F1 и УФ2 на частоту F2. Частоты настройки узкополосных фильтров соответствуют частотам разнеса вилочных гетеродинов. Амплитуда напряжения на выходе первого узкополосного фильтра пропорциональна мощности низкочастотной части спектра входного сигнала, а амплитуда напряжения на выходе второго узкополосного фильтра – высокочастотной его части. После выделения этих амплитуд с помощью амплитудных детекторов, производится их сравнение и формирование управляющего сигнала для подстройки частот гетеродинов. Как и в предыдущем случае, частота входного сигнала равна полусумме частот гетеродинов. Частоты гетеродинов измеряются измерителем частоты (ИЧ).

Таким образом, за счет использования двух вилочных гетеродинов с разными частотами разнеса, реализован способ частотного разделения измерений. При этом измерение амплитуды низкочастотной и высокочастотной частей спектра происходит одновременно, что и повышает быстродействие данного устройства по сравнению с устройством с временным разделением измерений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мониторинг космических аппаратов на основе применения корреляционно-фазовых пеленгаторов. Под общей ред. А.С.Чеботарева. –М. Физматлит. 2011.
2. Материалы сайта <http://kfp-ritm.ru/>
3. Материалы сайта <http://www.satsig.net/>
4. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М., Сов.радио, 1974.
5. Харкевич А.А. Спектры и анализ. Физматгиз, 1962.
6. Дроздов Б.В., Коваленко В.П. Устройство для определения корреляционных функций. А.С. СССР 550649, М.Кл. G06G 7/19, 1975.
7. Дроздов Б.В., Коваленко В.П. Устройство для определения корреляционных функций. А.С. СССР 1101847, М.Кл. G06G 7/19, 1983.
8. Коваленко В.П., Лисицын С.В. Устройство для измерения частоты энергетического центра тяжести спектра сигнала. А.С. СССР 1228027, М.Кл. G01R 23/00, 1984.
9. Дроздов Б.В., Коваленко В.П. Устройство для измерения частоты слабых сигналов. А.С. СССР 1386933, М.Кл. G01R 23/00, 1986.
10. Жуков А.О., Валяев И.Н., Турлов З.Н., Коваленко В.П., Гранич В.Ю. Измерение частоты широкополосных сигналов при фазовой пеленгации. Сборник трудов конференции «Перспективы развития РЛС дальнего обнаружения и интегрированных систем и комплексов информационного обеспечения ВКО», 2014, Радиотехника, Москва, с. 207-216.
11. Жуков А.О., Турлов З.Н., Валяев И.Н. Мониторинг космических аппаратов на основе применения корреляционно-фазовых пеленгаторов. Интеллект и технологии, 2014, № 3 (9), с. 64-67.
12. Валяев И.Н., Жуков А.О., Коваленко В.П., Турлов З.Н., Окунев Е.В. Пеленгация сигналов на фоне коррелированных помех. Сборник трудов конференции «Вторая Всероссийская научно-техническая конференция молодых конструкторов и инженеров «Минцевские чтения», посвященная 120-летию со дня рождения академика А.Л. Минца и 60-летию аспирантуры Радиотехнического института», место издания Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана Москва, 2015, с. 136-142 DOI.
13. Жуков А.О., Валяев И.Н., Турлов З.Н. Современное состояние наземных пассивных фазометрических средств мониторинга околоземного космического пространства. Сборник трудов конференции «Перспективы развития РЛС дальнего обнаружения и интегрированных систем и комплексов информационного обеспечения ВКО», 2014, Радиотехника, Москва, с. 20-30.
14. Валяев И.Н., Жуков А.О. Реализация баллистико-навигационного обеспечения космических аппаратов с помощью корреляционно-фазовых пеленгаторов типа «Ритм». Сборник трудов «XL Академические чтения по космонавтике посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства: сборник тезисов», 2015. С. 262.
15. Валяев И.Н., Жуков А.О. Математическая модель корреляционно-фазового радиопеленгатора. Сборник трудов «XL Академические чтения по космонавтике посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства: сборник тезисов», 2015. С. 262.

# НАСТРОЙКА ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ АСТРОФИЗИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА «ART-XC» ОБСЕРВАТОРИИ «СПЕКТР-РГ»

**Д.М. Гамков**

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

**Научный руководитель: М.В. Бунтов**

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

Разработка систем автоматического управления (САУ) в составе сложной системы с научным оборудованием в космических аппаратах является нетривиальной задачей. В процессе реализации САУ, как правило, возникает множество проблем ввиду технических ограничений и условий эксплуатации.

Объектом управления в данной работе служат функциональные элементы телескопа, управляемая величина – температура. Задача регулятора состоит в том, чтобы поддерживать заданную температуру объекта управления независимо от внешних возмущений (резкий перепад температур в результате вращения телескопа и т.д.).

Стандартный подход к созданию САУ имеет существенные технические ограничения:

1. Структура регулятора планируется еще на этапе создания объекта управления и не меняется,
2. Необходимость создания натуральных габаритно-массовых эквивалентов функциональных элементов с последующими испытаниями работоспособности САУ отнимает много финансовых и временных ресурсов.

В данной работе применяется программно-аппаратное моделирование физических процессов и систем, которое позволяет:

1. Уменьшить временные и финансовые затраты на реализацию алгоритмов управления и проведения испытаний,
2. Проверить настройки регулятора на модели объекта управления в режимах, которые недопустимы для реального оборудования.
3. Осуществить автоматическую генерацию кода для микроконтроллера на основе алгоритма модели системы управления, что исключает вероятность ошибки программиста.

Также в работе рассмотрены различные методы идентификации объектов управления и настройки регуляторов, сделаны соответствующие выводы об их применимости.

# ИССЛЕДОВАНИЕ УТЯЖЕЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ В ОКРЕСТНОСТИ МИНИМАЛЬНОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ АРМОСЕТКИ

**Е.И. Якимова**

*ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)», г. Москва, Россия, liz652330@yandex.ru*

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

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

В перспективных композиционных материалах применяется армирование наполнителя силовыми волокнами. Например, таким образом получают углепластики, которые всё чаще начинают применять в авиационной и космической технике. Целью работы является исследование исключительно массовых характеристик силового армирующего каркаса для минимизации расхода материала и снижения веса конструкции. Армирование конструкции может применяться не только в композиционных материалах, но и в традиционной технике. В частности, в строительстве железобетонные конструкции содержат как наполнитель в виде раствора бетона для работы на сжимающие напряжения, так и арматуру для восприятия растягивающих нагрузок. В космической технике очень важной характеристикой армированных конструкций становится не только их прочность, но и масса. Содержательная формулировка задачи сводится к выбору рациональной формы армирующей сетки с целью получения как можно меньшей массы изделия.

При армировании конструкции или наполнителя композиционного материала внутренний силовой каркас выполняется в виде периодически повторяющихся элементов. В авиационной технике часто применяются сотовые конструкции, хорошо выдерживающие нагрузку вдоль ячеек. В космической технике при создании экранно-вакуумной теплоизоляции тоже применяют сотовые конструкции, но расположенные перпендикулярно тепловому потоку в критическом с позиции нагрузки направлении. Для рационального армирования необходимо выбрать элементарную силовую ячейку. В этой работе рассматриваются только прямоугольные армирующие ячейки.

Работа началась с исследования квадратной силовой ячейки. Наиболее рациональным звеном являются два взаимно перпендикулярных стержня, уложенные по диагоналям квадрата. В такой ячейке стороны квадрата являются лишними, утяжеляющими конструкцию. Если стержни уложить вдоль сторон квадрата единичной длины, то протяжённость арматуры составит четыре единицы. При диагональном армировании протяжённость будет менее трёх единиц. Однако не всегда есть возможность выполнить строго диагональное армирование. Различные конструктивные элементы могут сместить точку соединения стержней от центра прямоугольника на значительное расстояние. В работе исследуется зависимость утяжеления конструкции от нарушения строгого диагонального армирования. Рассмотрены не только квадратные элементарные ячейки плоских конструкций, но и прямоугольные. Для квадратной ячейки отклонение точки сходимости стержней от центра на четверть стороны квадрата в любую сторону приводит к утяжелению конструкции не более чем на 5%. Это допустимо для строительных сооружений, но не всегда приемлемо для космической техники. Для прямоугольной ячейки отклонение точки сходимости стержней вдоль длинной оси ещё меньше утяжеляет конструкцию.

В ходе исследования была выявлена зависимость критичных с позиции утяжеления направлений смещения от центра точек связок волокон арматуры.

# ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ МИКРОВОЛНОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ВОДЯНОГО ПАРА АТМОСФЕРЫ НАД ВЗВОЛНОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ОКЕАНА

**Е.В. Пашинов, В.В. Стерлядкин, А.В. Кузьмин, Е.А. Шарков**  
*Институт Космических Исследований РАН, pashinove@mail.ru*

**Научный руководитель: Шарков Е.А., д.ф.-м.н.**  
*Институт Космических Исследований РАН*

Известно, что водяной пар оказывает определяющее влияние на радиационный баланс Земли и является основным переносчиком энергии в атмосфере. Все современные модели формирования погоды и прогноза климата опираются, так или иначе, на температурно-влажностные данные, которые необходимо предоставлять в глобальных масштабах и с малым периодом обновления. Очевидно, что оперативный глобальный мониторинг распределения водяного пара может быть осуществлён только с помощью дистанционного зондирования с борта космических аппаратов.

Сегодня, профиль водяного пара в атмосфере восстанавливают посредством активного и пассивного дистанционного зондирования в микроволновом и ИК диапазоне. К достоинствам пассивного микроволнового зондирования можно отнести всепогодность и не такую сильную зависимость от облачности как в ИК диапазоне. К недостаткам – плохое вертикальное разрешение.

Традиционно, для зондирования влажности в микроволновом диапазоне используются измерения на склоне наиболее сильной линии поглощения 183,31 ГГц. Существующие космические приборы имеют от трёх до восьми каналов в данной области спектра и заявляют о возможности восстановления профиля влажности в лучшем случае - в шести атмосферных слоях.

Результаты моделирования показали, что измерения на склоне линии 183,31 ГГц имеют ряд ограничений. Авторами был предложен новый метод измерений названный «Дифференциальным», который, теоретически должен позволить восстанавливать профиль влажности нижних слоёв атмосферы. Метод заключается в вычитании сигналов близких частотных каналов на склоне линии 22.235 ГГц. Данный подход является новым в решении поставленной задачи.

Решение обратной задачи восстановления профиля водяного пара в атмосфере опирается на известные или измеренные параметры подстилающей поверхности или атмосферы. Погрешность в данных о параметрах подстилающей поверхности может стать серьёзной преградой в решении обратной задачи. В ходе работы была проведена оценка вкладов неопределённости параметров взволнованности морской поверхности на точность дифференциальных методов. Показано, что погрешность определения скорости ветра, температуры поверхности и солёности не велики за счет их взаимного вычитания на разных частотах. Это позволяет проводить решение обратной задачи восстановления профиля водяного пара в нижних слоях тропосферы на основе дифференциальных радиофизических методов.

# ОБЛАСТИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ НА МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

**Е.А. Яркова, И.С. Ярков**

*ФГБОУ ВО «СибГАУ», г. Красноярск, Россия, yarkova.sib@yandex.ru*

**Научный руководитель: В.И. Кудымов, д.т.н.,**

*ФГБОУ ВО «СибГАУ», г. Красноярск, Россия*

При создании космических аппаратов (КА) последнего поколения все чаще возникает проблема оптимального перераспределения тепловых потоков в связи с повышенной нагрузкой бортового целевого оборудования.

Данная задача решается нами с использованием контурных тепловых труб (КТТ) в системе терморегулирования КА. Они могут рассматриваться как почти идеальная тепловая связь между источником и удаленным стоком тепла, так как не требуют заметных затрат электроэнергии на функционирование и обладают высокой надежностью.

Задача определения целесообразного использования контурных тепловых труб была рассмотрена на примере малых космических аппаратов и были проведены расчеты тепловой нагрузки (тепловыделение приборов), которую должен отводить радиатор, не менее 300 Вт, для максимального режима «перегрева» и не более 100 Вт для минимального режима «переохлаждения». За расчётную температуру излучательного радиатора была принята температура плюс 20 °С (режим «перегрева») и минус 10 °С (режим «переохлаждения»).

С помощью вычислительного моделирования найдена мощность обогревателя, которую потребовалось бы подводить в случае использования обычных тепловых труб, чтобы поддержать температуру приборов выше нижней допустимой границы. При использовании КТТ, средняя температура радиатора может быть значительно ниже рабочей температуры пара за счёт блокирования радиатора жидкостью. То есть, термическое сопротивление КТТ является переменным: оно имеет малую величину при большой нагрузке и большую при малой нагрузке, что сходно с газорегулируемыми тепловыми трубами. При использовании КТТ радиатор может опуститься по температуре до минус 70 °С и это не приведёт к переохлаждению приборов, поскольку площадь, открытая для пара, составит лишь малую долю общей площади.

В данной работе определена область применения КТТ малых КА, при которой не потребуются дополнительного обогрева радиатора.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛИ ДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

**И.С. Ярков, Е.А. Яркова**

*ФГБОУ ВО «СибГАУ», г. Красноярск, Россия, yarkova.sib@yandex.ru*

**Научный руководитель: В.И. Кудымов, д.т.н.,**

*ФГБОУ ВО «СибГАУ», г. Красноярск, Россия*

В связи с развитием навигации возрастают требования к ее геодезическому обеспечению, в том числе к определению параметров Государственной общеземной геоцентрической системе координат (ГОГСК) (также называемой «система ПЗ-90») и гравитационного поля Земли (ГПЗ). ПЗ-90.11 является системой геодезических параметров, включающей фундаментальные геодезические постоянные, параметры общеземного эллипсоида, параметры гравитационного поля Земли, геоцентрическую систему координат и параметры ее связи с другими системами координат.

Задача определения глобальных геодезических параметров, входящих в Государственную систему геодезических параметров Земли «Параметры Земли» (система ПЗ-90.11), решается с помощью данных, полученных от космических геодезических систем.

Моделирование геодезических параметров земли происходит в несколько этапов. Методологической основой обработки служит спутниковый динамический метод. Точность результатов в значительной степени зависит от точности учета факторов, влияющих на движение космической геодезической системы (КГС): силы тяжести, влияние притяжения Луны и Солнца, давление солнечного излучения. Динамический метод позволяет получить положение пунктов в единой для всей планеты системе координат с началом в центре масс Земли и определить внешнее гравитационное поле Земли. Параметры гравитационного поля Земли определяются из анализа возмущений орбит КГС.

- На первом этапе динамическим методом космической геодезии определяется ГОГСК и спутниковая модель ГПЗ;
- На втором этапе расширенным динамическим методом с использованием градиентометрической информации уточняется ГОГСК и спутниковая модель ГПЗ расширенного состава;
- На третьем этапе на основе уравнивания спутниковой модели ГПЗ расширенного состава, альтиметрических и гравиметрических детальных данных создается детальная комбинированная модель ГПЗ. Третий этап выполняется итерационно.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ И МАЛЫХ ТЕЛ**



# О СТАТИСТИКЕ ДЕКАМЕТРОВЫХ АСТЕРОИДОВ, СБЛИЖАЮЩИХСЯ С ЗЕМЛЕЙ

**Е.В. Ефремова**

*Институт астрономии РАН, г.Москва, Россия, efremova@inasan.ru*

**Научный руководитель: Б.М.Шустов, д.ф-м.н, член-корр. РАН, профессор**  
*Институт астрономии РАН, г.Москва, Россия*

Проведен анализ статистики сближений астероидов размерами более 10 м, проходящих на расстоянии  $R$  менее 1 млн км от Земли. Количество таких астероидов является важным элементом обоснования эффективности наблюдательной способности проектируемого российского космического аппарата (КА) СОДА (Система Обнаружения Дневных Астероидов). КА СОДА будет расположен на квазиустойчивой гало-орбите в окрестности точки либрации L1 системы Солнце-Земля.

Статистика астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ) на расстояние  $R$  выполнена при помощи программы, написанной на языке C++. Алгоритм вычислений прост. Программа вычисляет положения в пространстве астероидов и Земли на интервале 10 лет со скважностью 1 сутки (начиная с 01 января 2016 г). Положение астероида определяется по кеплеровым элементам орбиты астероида (полученным при помощи пакета NEOPOP). Рассматривается невозмущенное движение. Положение Земли берется из файла DE405, взятого с сайта JPL ([http://ssd.jpl.nasa.gov/?planet\\_eph\\_export](http://ssd.jpl.nasa.gov/?planet_eph_export)). Затем вычисляются расстояния между Землей и астероидом. Если расстояние меньше или равно заданного  $R$ , то данное событие учитывается в статистике.

Для моделирования популяции АСЗ и расчета сближений была использована программа Near-Earth Object Population Observation Program (NEOPOP). В основе пакета NEOPOP лежит модель популяции околоземных астероидов Боттке-Морбиделли-Гравника.

Выбор радиуса сферы в 0.4 млн км (примерное расстояние от Земли до Луны) обусловлен тем, что часто в СМИ появляются «пугающие» сообщения об астероидах, проходящих между Луной и Землей. Стоит отметить, что ажиотаж вокруг отдельных тел, пересекающих эту область, не оправдан, ведь за год на расстоянии до 0.4 млн км от Земли пролетает около четырех сотен астероидов размером от 10 до 850 м.

Основные результаты:

- Согласно полученной статистике, количество АСЗ декаметровой величины, входящих за год в околоземное пространство радиусом 1 млн км, составляет около 3200 штук в год.
- Получены зависимости частоты входа в указанную зону от размера АСЗ.

# СРАВНЕНИЕ ГИРОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА В МОДЕЛИ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ МАРСА С ДАННЫМИ SPICAM

**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, г. Долгопрудный, Россия, shaposhnikov@phystech.edu*

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

<sup>3</sup>*Институт исследований Солнечной системы им. Макса Планка*

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

*ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г.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). 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 Ls 90–150° (Ls – solar longitude, определяет сезон на Марсе, 0° соответствует весеннему равноденствию в северном полушарии). Для сравнения модели с экспериментом, мы используем наиболее современные данные спутника Mars Express – наблюдения в течение 10 земных лет ИК-спектрометра SPICAM (5 марсианских лет MY 27–31).

Работа выполнена в Лаборатории прикладной инфракрасной спектроскопии МФТИ при поддержке гранта РФФИ 100027.07.32.РФФИ27.

# ГЛОБАЛЬНАЯ ПЫЛЕВАЯ БУРЯ 28-ГО МАРСИАНСКОГО ГОДА ПО ДАННЫМ СОЛНЕЧНЫХ ЗАТМЕНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТА СПИКАМ-ИК НА КА «МАРС-ЭКСПРЕСС»

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

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований

Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия,  
dasha-integral@yandex.ru

<sup>2</sup>LATMOS-UVSQ/UPMC/CNRS

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

ФГБУН Институт космических исследований

Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

Аэрозольные частицы – минеральная пыль, конденсирующийся на ней лед из воды и углекислого газа – участвуют во многих процессах, формирующих климат Марса. Пыль поднимается с поверхности планеты ветрами и локальными вихрями. Образование облаков водяного льда тесно связано с водяным циклом. Взаимодействуя с проходящим через атмосферу солнечным излучением, аэрозоль рассеивает и поглощает в ИК-диапазоне, поэтому по изменению спектральных характеристик можно делать выводы об оптических свойствах и физических параметрах в различных координатах, высотах, временах года.

Глобальные пылевые бури как сезонное явление представляют большой интерес. Они происходят в период прохождения Марсом перигелия, но не каждый год и с различной интенсивностью. В это время возникает положительная обратная связь между горизонтальным переносом (адвекцией) пыли, поглощающей солнечное излучение, и интенсивностью циркуляции ячейки Хэдли, что проявляется в резком возрастании концентрации пыли в атмосфере, увеличении температуры кроссэкваториальных потоках воздушных масс. В 28-м марсианском году (28 MY) сила и масштаб подобного явления достигли такой степени, что планета почти целиком покрывалась пылевыми облаками. Поэтому подробный анализ данных спектрометра SPICAM в ИК-диапазоне за этот период может оказаться полезным.

В эксперименте применяется метод солнечного просвечивания, позволяющий получить информацию о вертикальном распределении аэрозолей. Прибор работает в диапазоне от 1 до 1.7 мкм, регистрируя долю рассеянного излучения на различных высотах, что дает вертикальные профили оптической толщины и экстинкции.

За сезон с  $L_s = 253$  до  $L_s = 302$  по результатам наблюдений восстановлено 102 профиля на высотах от 0 до 90 км с вертикальным разрешением от 2 до 10 км. Широтный охват – от  $65^\circ S$  до  $65^\circ N$ . Получены значения оптической толщины, коэффициента экстинкции, параметров распределения по размерам (эффективного радиуса и вариации) и концентрации частиц. Оптическая толщина зарегистрировалась до минимального значения  $\sim 0.0045$ , что позволило наблюдать тонкие облака на больших высотах (60–70 км). По характерному виду вертикального профиля (зависимости оптической толщины и экстинкции от высоты) удалось выделить облака водяного льда, которые встречались главным образом в начале наблюдаемого периода до  $L_s = 265^\circ$ – $270^\circ$  в обоих полушариях. С помощью решения обратной задачи рассеяния по теории Ми из данных об экстинкции найдено распределение частиц по размерам для каждой высоты, с коэффициентами преломления минеральной пыли и водяного льда. Значения радиуса пылевых частиц, наблюдавшиеся ИК-каналом SPICAM, варьировались в период бури от 0.3 до 1.3 мкм. Во время ее активной фазы крупные частицы (до 1 мкм) поднимались выше 50 км. Выявлен тренд увеличения радиусов на высотах 50–70 км в течение всего периода наблюдений, особенно сильно заметный в низких широтах (от 0.4 мкм перед началом бури до 0.8–1 мкм в  $L_s = 295^\circ$ – $302^\circ$ ). Концентрация аэрозоля для разных вариантов решения обратной задачи изменялась от 0.01 до 15 частиц на  $см^3$ . Также проведено изучение зависимости вариации распределения от высоты в разных точках и изменение этой зависимости в разные периоды пылевой бури.

Благодарность грантам РФФИ [15-02-07812-а](#) и [16-52-16011](#).

# МЕТОДИКА И МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРИЗНАКОВ НАЛИЧИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРОБЕ С ПОМОЩЬЮ ЕЕ ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

**К.А. Лучников<sup>1</sup>, Г.Г. Манагадзе<sup>1</sup>, А.А. Сафронова<sup>1</sup>, Е.А. Воробьева<sup>1,2</sup>, А.Е. Чумиков<sup>1</sup>, Н.Г. Манагадзе<sup>1</sup>**

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

*<sup>2</sup>Московский Государственный Университет им. Ломоносова,  
Факультет Почвоведения, г. Москва, Россия, [luchnikov@iki.rssi.ru](mailto:luchnikov@iki.rssi.ru)*

В работе предлагается и обосновывается применимость новой методики обнаружения признаков наличия внеземной биомассы на космических телах посредством масс-спектрометрического анализа элементного состава твердого образца и сравнения с составом известных образцов. Микроорганизмы могут быть обнаружены по содержанию и соотношению концентраций биогенных маркеров N, C, K/Ca, P/S. Метод был проверен в многочисленных лабораторных опытах на культурах микроорганизмов и на образцах земных полярных грунтов, содержащих микроорганизмы. Образцы таких грунтов представляют собой аналог Марсианских образцов реголита.

Также демонстрируется лабораторный прототип бортового лазерного время-пролетного масс-спектрометра АБИМАС и узла пробоподготовки и экстракции биомассы. Предлагаемый инструмент был первоначально одобрен для участия в миссии ExoMars (посадочный аппарат). Масс-спектрометры предыдущих поколений использовались в миссии Фобос-Грунт, а также находятся в процессе изготовления для установки на борт космических аппаратов Луна-Ресурс и Луна-Глоб. Узел пробоподготовки прошел лабораторные испытания, часть измерений была выполнена с его использованием в режиме, аналогичном планируемому для эксплуатации узла на борту космического аппарата.

В работе обосновывается потенциальная возможность выживания микроорганизмов в приповерхностном слое марсианского реголита, рассматриваются различные факторы среды, воздействующие на микроорганизмы, а также оригинальная концепция защиты микроорганизмов от ультрафиолета пылевыми облаками.

Разработанная методика запатентована (патент РФ №2586778) и может быть использована для поиска и идентификации микроорганизмов в различных марсианских образцах, а также в образцах вечной мерзлоты и льдов других планет, спутников, комет и астероидов, в частности, Европы, Ганимеда и Энцелада. Инструмент может быть использован для анализа необработанного реголита и атмосферной пыли, осажденной на подложке-прободержателе.

# ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАЧНОГО СЛОЯ ВЕНЕРЫ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ НОЧНОГО ОКНА ПРОЗРАЧНОСТИ 1.28 МКМ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ СПИКАВ ИК ЗА 2006-2014 ГГ.

**Д.Г. Евдокимова, А.А. Федорова, Д.А. Беляев**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия, evd.dar@yandex.ru*

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

Облачный слой, окутывающий Венеру на высотах 50-70 км, обуславливает климат на планете и является главной причиной парникового эффекта. Основной составляющей облаков является аэрозоль концентрированной серной кислоты. В облаках можно выделить три моды преобладающих частиц, характеризующихся разными размерами: менее 0.4 мкм (мода 1), ~1 мкм (мода 2) и 3-4 мкм (мода 3). В зависимости от концентрации частиц разных мод выделяют три слоя облаков. Выше 70 км наблюдается надоблачная дымка, состоящая из частиц моды 1. Верхний слой облаков – 57-70 км – содержит частицы моды 1 и 2. Средний (50-57 км) и нижний (47-50 км) слои, а также подоблачная дымка, содержат частицы моды 2 и моды 3. Самые крупные частицы – моды 3 – определяют основную массу облаков [1].

Изменения, происходящие в облаках, могут влиять на процессы теплового обмена, что, в свою очередь, определяет динамику и состав атмосферы. При этом, в пределах облачного слоя возможны периодические процессы как быстропотекающие (в течение суток), так и длительные (годовые) [2, 3].

Облака Венеры оптически непрозрачны в большой области спектра, что делает практически невозможным дистанционно исследовать их нижние слои. Однако в конце 1980-х годов были открыты спектральные полосы в инфракрасной (ИК) области спектра, называемые «окнами прозрачности», в которых поглощение газами и аэрозолями облаков слабо. В этих спектральных интервалах тепловое излучение нижней атмосферы и поверхности Венеры доступно для дистанционных измерений. Исследование окон прозрачности около 1.74 мкм и 2.3 мкм спектрометром VIRTIS-M (аппарат «Венера-Экспресс») показало, что изменение их интенсивности происходит с периодом равным 150 дням. Было также отмечено медленное возрастание яркости излучения на средних широтах [4]. Спектрометр СПИКАВ ИК («Венера-Экспресс»), работавший в диапазоне 0.65-1.70 мкм, проводил измерения в период с 2006 по 2014 гг. Эта область спектра включает окно прозрачности около 1.28 мкм, в котором излучение в атмосфере формируется на высотах 15-30 км. Оно модулируется только рэлеевским рассеянием CO<sub>2</sub>-атмосферы и рассеянием в облаках. Частицы моды 3 вносят наибольший вклад в рассеяние, что позволяет связать вариации интенсивности такого излучения с изменением параметров нижних облаков.

В нашей работе ставится задача исследования параметров облачного слоя по излучению окна прозрачности 1.28 мкм. Наблюдения СПИКАВ ИК показали, что излучение варьируется в пределах от 0.05 до 0.1 Вт/м<sup>2</sup>/мкм/страд. Для изучения облаков строится модельный спектр излучения окна 1.28 мкм, который сравнивается с данными. Теоретический спектр рассчитывается по модели радиационного переноса с учетом многократного рассеяния и использованием программы SHDOMPP, реализующей метод дискретных ординат в одномерном приближении [7], описанный в статьях Bezard et al. 2009 и 2011 г. и Fedorova et al. 2014 г. [8, 9, 10]. В этой модели принято, что капли аэрозоля состоят из 75% концентрированной серной кислоты. Параметры облаков рассчитываются по теории Ми и основаны на прямых наблюдениях аппаратов «Венера-13», «Венера-14» и «Пионер Венера». Для каждого параметра (экстинкция, высота нижней границы облаков, альbedo однократного рассеяния, параметр асимметрии) строятся весовые функции. Они показывают степень их влияния на интенсивность излучения в окне прозрачности для каждого облачного слоя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Esposito L.W. et al., 1997. Chemistry of lower atmosphere and clouds. *Venus II, The University of Arizona Press*. 415–458.
2. McGouldrick K., Toon O.B., 2007. Investigation of possible causes of the holes in the condensational Venus cloud using a microphysical cloud model with a radiative-dynamical feedback. *Icarus*, 191. 1–24.
3. McGouldrick K., Toon O.B., 2008. Modeling the effects of shear on the evolution of the holes in the condensational clouds of Venus. *Icarus*, 196. 35–48.
4. McGouldrick K., Tsang C.C., In Press. Discovery of a 150 day period in the Venus condensational clouds. *Icarus*.
5. D. Crisp, 1989. Radiative forcing of the Venus mesosphere. *Icarus*, 77. 391–413.
6. Pollack J.B., et al., 1993. Near-infrared light from Venus' nightside: a spectroscopic analysis. *Icarus*, 103. 1–42.
7. Evans, K. F., 1998. The spherical harmonic discrete ordinate method for three-dimensional atmospheric radiative transfer. *J. Atmos. Sci.*, 55. 429-446.
8. Bezard B. et al., 2009. Water vapor abundance near the surface of Venus from Venus Express/VIRTIS observations. *J. Geophys. Res.*, 114. E00B39.
9. 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.
10. 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.

# ЦИРКУМБИНАРНЫЕ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ И ОБИТАЕМОСТИ СПЕКТРАЛЬНО-ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД В ОКРЕСТНОСТИ СОЛНЦА

**Е.А. Попова, В.В. Бобылев, И.И. Шевченко**

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, г.Москва, Россия,  
m02pea@gmail.com*

Для выборки 204 разделенных спектрально-двойных звезд в радиусе 550 пк от Солнца определены размеры центральных областей хаотического движения вокруг двойных. Размеры определены по двум независимым критериям. Также оценены размеры и положения циркумбинарных областей обитаемости. Выявлены двойные системы, для которых циркумбинарные области устойчивости и обитаемости перекрываются, то есть могут присутствовать обитаемые циркумбинарные планеты.

# МОДЕЛИ ЛУННОГО ГРУНТА ДЛЯ ШИРОКОМАСШТАБНЫХ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Е.А. Гришакина, В.Ю. Маковчук, Д.А. Белов, Е.А. Ивлева, Е.Г. Савельев**  
*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
г. Москва, Россия, orskaty@mail.ru*

**Научный руководитель: Е.Н. Слюта, к.г.-м.н.**  
*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
г. Москва, Россия*

Все аналоги и модели лунного грунта изготавливаются, как правило, с целью имитации одного-двух основных свойств, необходимых для исследования, моделирования и проведения экспериментов. Практически невозможно создать на основе земных горных пород полный аналог лунного реголита, соответствующий всем основным свойствам – физико-механическим, теплофизическим, электромагнитным, химическому и минеральному составу. В зависимости от задач исследований и требуемых объемов грунта-аналога применяемые компоненты и технологии его изготовления могут существенно различаться. Так для широкомасштабных натуральных экспериментов, например, для бросковых испытаний и отработки посадки космических аппаратов миссии «Луна», для создания лунодромов с целью испытания самоходных или иных транспортных средств для передвижения по лунной поверхности, для проектирования и испытания элементов лунной инфраструктуры, для разработки и создания технологических комплексов по добыче и обогащению необходимых ресурсов, и т.д., требуются объемы грунта-аналога, измеряемые десятками и сотнями тонн.

При выборе компонентов грунта-аналога для широкомасштабных натуральных экспериментов учитывалось несколько основных требований: а) модель лунного грунта должна имитировать только основные физико-механические свойства; б) составляющие грунта-аналога должны обладать относительно низкой стоимостью и легкой промышленной доступностью в больших объемах; в) изготовление грунта-аналога и его укладка должна проводиться с помощью доступных промышленных методов и инструментов.

В соответствии с исходными требованиями были отобраны следующие компоненты: «Песок шлаковый 0.1-5 мм», «Щебеночно-песчаная смесь 0.1-10 мм», «Шлак гранулированный», «Зола-уноса Черепетской ГРЭС (№1)», «Зола-уноса Черепетской ГРЭС (№2)», «Зола-уноса Рязанской ГРЭС», «Кварцевый песок 0.5-1.0 мм». Товарные названия компонентов даны без изменений.

В качестве испытываемых свойств компонентов определялись следующие физико-механические характеристики: гранулометрический состав, объемный вес, удельный вес, пористость, влажность, модуль общей деформации, статический и динамический модули упругости, коэффициент Пуассона, модуль сдвига, несущая способность, угол внутреннего трения, сцепление, прочность на одноосное сжатие (для связных компонентов грунта). После тестирования всех исходных образцов на вышеперечисленные свойства производилось их смешивание в следующих пропорциях, взятых по массе: шлак – 33%, зола – 40%, кварцевый песок – 27%. Такое сочетание компонентов позволило получить лунный грунт-аналог с наиболее приближенными к лунному реголиту физико-механическими свойствами (Табл. 16 в [1]). Для полной апробации были выбраны модели двух типов: lunar soil imitator №1 (LS1) – «Песок шлаковый 0.1-5 мм», «Зола-уноса Рязанской ГРЭС», «Кварцевый песок 0.5-1.0 мм»; lunar soil imitator №2 (LS2) – «Щебеночно-песчаная смесь 0.1-10 мм», «Зола-уноса Черепетской ГРЭС (№1)», «Кварцевый песок 0.5-1.0 мм».

Оба грунта-аналога достаточно близко соответствуют оригинальному лунному грунту, погрешности в полученных показателях можно считать допустимыми при выборе лунного грунта-аналога для широкомасштабных натуральных экспериментальных исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Slyuta E.N. (2014) Physical and mechanical properties of the lunar soil (A review). Solar System Research. V. 48, № 5. P. 330–353.



# РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ЛУНЫ НА ОСНОВАНИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ, СЕЙСМИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

**Е.В. Кронрод, О.Л. Кусков**

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

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

Цель работы состояла в объединении блока THERMOSEISM (расчет фазовых равновесий и термодинамических свойств) с программой по решению полной обратной задачи определения внутреннего строения Луны на основании гравитационных и сейсмических данных методом МСМС, разработанной в RISE Project NOAJ (Япония).

В качестве наблюдаемых параметров модели использовались шесть геодезических параметров: средний радиус ( $R$ ), масса ( $M$ ), нормализованный момент инерции ( $I_{SMR2}$ ) и число Лява  $k_2$  и факторы добротности с периодом месяца и год ( $Q_m$  и  $Q_a$ ) (*Williams and Boggs [2015]*), а также времена прихода сейсмических волн по *Lognonne et al. [2003]*.

Для решения обратной задачи по определению внутреннего строения Луны применяется метод инверсии Байеса, а также алгоритм для определения параметров внутреннего строения Луны (мощность слоя  $t$ , плотность  $\rho$ , модуль сдвига  $\mu$ , модуль всестороннего сжатия  $\kappa$ , вязкость  $\eta$ ) методом Монте-Карло по схеме марковских цепей (метод МСМС). Температура и концентрации основных оксидов рассчитывались в серединах слоев верхней, средней и нижней мантии с помощью подпрограммы, основанной на программном комплексе THERMOSEISM. По ним определялись  $\rho$ ,  $\mu$  и  $\kappa$  – входные параметры для инверсии. По параметрам  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $\kappa$ ,  $\eta$  можно рассчитать теоретические значения для массы, момента инерции, числа Лява  $k_2$ , добротности  $Q_m$ ,  $Q_a$  и времена прихода сейсмических волн. Затем рассчитывается функция правдоподобия  $L(m)$ , которая определяет расхождение между расчетными и наблюдаемыми величинами (*Matsumoto et al., [2015]*).

Рассматриваются восьмислойные модели внутреннего строения Луны, состоящие из реголита мощностью 1 км, коры, верхней, средней и нижней мантии, слоя пониженной вязкости (LVZ) мощностью 0-500 км, жидкого внешнего ядра (10–500 км) и твердого внутреннего ядра. Параметры модели: мощность слоя  $t$ , плотность  $\rho$ , модуль сдвига  $\mu$ , модуль всестороннего сжатия  $\kappa$ , и вязкость  $\eta$  для каждого слоя. В слоях мантии вместо  $\rho$ ,  $\mu$  и  $\kappa$  входными параметрами являются концентрации основных оксидов Al, Fe и Mg и температура  $T$ . Температура и концентрации основных оксидов рассчитывались в серединах слоев верхней, средней и нижней мантии.

Посчитано порядка 50 вариантов моделей с разной постановкой задачи и различными входными параметрами модели. Для каждого варианта определены возможные значения валового состава, концентрации оксидов Al, Fe, Mg, температур и сейсмических скоростей в каждом слое мантии. Было получено, что для разумных с физической точки зрения результатов необходимо накладывать дополнительные ограничения на параметры модели (ограничение по валовому составу, наложение условия магматического океана). В противном случае задача оказывается переопределенной, решение выходит на неадекватные значения концентраций и температур. В значительной степени данный результат связан с недостаточной точностью имеющихся в настоящее время сейсмических данных. Требуется дополнительные исследования для установления взаимного влияния между параметрами модели.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Williams, J. G., and D. H. Boggs. 2015. Tides on the Moon: Theory and determination of dissipation - J. Geophys. Res. Planets.
2. Lognonné P. et al. 2003. A new seismic model of the Moon: implications for structure, thermal evolution and formation of the Moon - Earth Planet. Sci. Lett.
3. Matsumoto et al. 2015. Internal structure of the Moon inferred from Apollo seismic data and selenodetic data from GRAIL and LLR - Geophysical Research Letters.

# МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛУННЫХ КРАТЕРОВ С ПОМОЩЬЮ ARCGIS

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

*Комплексная лаборатория исследования внеземных территорий, МИИГАиК, г. Москва, Россия, [n\\_kozlova@miigaik.ru](mailto:n_kozlova@miigaik.ru)*

Обычно морфометрический анализ поверхности планетных тел производится по ЦМР, однако для кратеров зачастую используется визуальный морфологический анализ. Современные ГИС-технологии позволяют определять морфометрические параметры кратеров автоматически по ЦМР, если есть электронный каталог дешифрованных кратеров. Проблема заключается в том, что с уменьшением размера кратеров их количество резко возрастает.

В таких случаях используются автоматические методы распознавания кратеров, одним из примеров является лунный каталог LU78287GT, в который входят кратеры диаметром свыше 8 км. Одной из проблем автоматического дешифрирования является подготовка изображения для распознавания. Поэтому полуавтоматический метод (CraterTools for ArcGIS) является основным в нашей работе.

На данном этапе был составлен каталог кратеров на приполярные области Луны до 60° широты. В качестве основы для дешифрирования использовалась мозаика WAC GLOBAL и ЦМР GLD100 (с разрешением 100м). В наш каталог вошли около 185 тыс. кратеров, в том числе 97561 кратеров диаметром от 1 до 10 км.

Для массового автоматического определения морфометрических параметров кратеров нами были проведены вычисления и сравнение полученных результатов на тестовом участке южной приполярной области при помощи двух модулей для ArcGIS: 1) CraMO 2) d/D Calculation. С их помощью можно определить глубину, высоту вала, относительную глубину кратеров. Для работы была взята часть созданного каталога в количестве 26.5 тыс. объектов и ЦМР LDEM60 (находящаяся в свободном доступе).

По программе CraMO были получены результаты для 16 тыс. кратеров, а по алгоритму d/D Calculation – для 13.5 тыс. кратеров, для остальных кратеров из набора автоматические определения не прошли. При анализе полученных результатов было выявлено, что большая часть выпавших кратеров приходится на кратеры меньше 1 км в диаметре, что говорит о невозможности произведения расчетов для них по ЦМР с разрешением 60 м и хуже.

Среднее различие относительной глубины, надежно определенных с помощью выбранных алгоритмов кратеров, составило менее 0.01, а коэффициент корреляции соответствующих значений близок к 0.9. Такое совпадение результатов, полученных различными алгоритмами (в особенности, использующих различные методы определения морфометрических параметров), подтверждает надежность работы каждого из них и, соответственно, говорит о возможности их применения для определения морфометрических параметров кратеров выбранного размера для всей поверхности Луны.

Кроме этого, созданный каталог позволяет проводить анализ кратерированности территории, с возможностью создания карт плотности кратеров различного размера. Так, с помощью инструмента ArcGIS “Kernel density” была вычислена плотность кратеров на территории южного полюса для следующих групп диаметров: от 1 до 2 км; от 2 до 5 км; от 5 до 10 км.

Таким образом, создаваемый морфометрический каталог востребован для проведения фундаментальных исследований: относительная глубина кратеров важна для изучения склоновых процессов, оценки различий материковых, морских и приполярных районов, а также для сравнительно-планетологического анализа Луны с другими телами земной группы. Каталог будет доступен на Геопортале (<http://carsrv.mexlab.ru/geoport/>).

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

# АНАЛИЗ ШЕРОХОВАТОСТИ РЕЛЬЕФА ЛУНЫ ПО ДАННЫМ ЛАЗЕРНОГО АЛЬТИМЕТРА LOLA

**М.В. Дьячкова**

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

**Научный руководитель: И.Г. Митрофанов, д.ф.-м.н.**

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

Российская космическая программа предполагает исследование Луны автоматическими межпланетными станциями в ближайшие годы. Первый посадочный аппарат Луна-25 отправится к Луне в конце 2019 года.

Успех этой миссии во многом будет зависеть от выбора места посадки космического аппарата, которое должно не только удовлетворять множеству технических критериев, обеспечивающих успешную посадку и функционирование аппарата на поверхности, но и позволить получить интересные научные данные.

Для выбора места посадки в южном полярном регионе Луны был использован разработанный в ИКИ РАН метод, основанный на технологиях пространственного анализа и позволяющий на основе имеющихся данных о поверхности Луны найти наиболее пригодные для посадки территории.

В рамках этого метода для анализа топографических особенностей поверхности была использована существующая цифровая модель рельефа (ЦМР) с пространственным разрешением около 30 м, созданная на основе интерполяции данных лазерного альтиметра LOLA, находящегося на борту космического аппарата LRO.

Тем не менее пространственное разрешение использованной ЦМР недостаточно для более детальной оценки условий в месте посадки в масштабе, сравнимом с базой космического аппарата, которая составляет около 3 м.

Одним из источников данных, отвечающих таким требованиям, являются необработанные данные («треки») эксперимента LOLA, не подвергшиеся процедуре интерполяции. Анализ таких данных может как существенно увеличить масштаб исследования, так и повысить его точность.

Основной проблемой при использовании «треков» является недостаточное покрытие ими территорий, выбранных в качестве кандидатов в места посадки. Тем не менее, в настоящей работе на основе существующего покрытия произведена оценка таких характеристик рельефа поверхности кандидатов в места посадки, как крутизна и экспозиция склонов, а также предложен вариант векторного метода определения шероховатости поверхности.

# ОБРАЗОВАНИЕ АМИНОКИСЛОТ В АЗОТНО-МЕТАНОВОЙ АТМОСФЕРЕ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ УДАРНЫХ СОБЫТИЯХ

**М.А. Зайцев**

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

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

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

Получены данные об образовании простых белковых и небелковых аминокислот (содержащих 2-4 атома углерода) при лабораторном моделировании условий высокотемпературного пара (4000-5000 К), возникающего при ударно-индуцированном испарении ударника и мишени (при скоростях столкновения  $\sim 10$ -15 км/с) в азотно-метановых газовых средах.

Для моделирования использовали импульсный лазер на неодимовом стекле ( $\lambda=1,06$  мкм, длительность импульса -  $10^{-3}$  с, энергия  $\sim 600$ -700 Дж, плотность потока энергии  $\sim 10^6$ - $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>). В качестве мишени использовали перидотит – горную породу, состоящую из оливинов и пироксенов – главных минеральных компонентов каменных астероидных тел.

Лазерное испарение перидотита проводили в азотно-метановых газовых средах (P = 1 атм, T = 298 К), содержащих 4 % об. (соответствует возможному составу ранней атмосферы Земли и составу современной атмосферы Титана) и 50 % об. CH<sub>4</sub> (для сравнения). Источником углерода для образования органических соединений (ОС) был метан, входящий в состав модельных смесей.

Твёрдые конденсаты, полученные в результате лазерного испарения перидотита, были подвергнуты экстракции при воздействии ультразвука органическими растворителями (смесью CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> и CH<sub>3</sub>OH) и водой для извлечения, соответственно, неполярных и полярных ОС. Экстракты упаривали и анализировали с помощью газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ/МС): CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>OH экстракты – напрямую, а водные экстракты – после полного удаления воды и дериватизации N-трет-бутилдиметилсилил-N-метилтрифторацетамидом (МТБСТФА). Дериватизацию применяли для получения летучих и термически стабильных производных ОС (главным образом аминокислот), прямой ГХ/МС-анализ которых невозможен вследствие их термолабильности.

Показано, что азотно-метановая атмосфера даже при малой концентрации метана способствует ударно-индуцируемому синтезу ОС в случае каменных ударников, не содержащих углерод. В частности, при лазерном испарении перидотита в атмосфере с 4% об. CH<sub>4</sub> зафиксировано образование не только углеводородов, но и аминокислот – глицина и аланина – на уровне ppm и других азот- и кислородсодержащих органических соединений (мочевина, янтарной кислоты, и т.д.). При 50% метана выход ОС был заметно более высоким.

Фактический состав ранней атмосферы Земли неизвестен. Однако, при наличии азотно-метановой атмосферы, ударно-генерированное органическое вещество (включая аминокислоты и другие биологически значимые ОС), наряду с органическим веществом из других источников, могло синтезироваться уже на ранних этапах эволюции планеты. С другой стороны, эффективность накопления ОС на поверхности Земли определялась условиями (главным образом температурными), которые в разные периоды могли способствовать или препятствовать ее сохранению.

# КАЧЕСТВЕННАЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕНИЯ АСТЕРОИДОВ ГЛАВНОГО ПОЯСА И АСЗ

**М.П. Щербина, А.А. Резаева**

*Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга  
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия, morskayaa906@yandex.ru, aa.rezaeva@physics.msu.ru*

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

*Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга  
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия*

Астероиды являются одними 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.

Используя наблюдательные данные астероидов, полученные в 2015-2016 гг. С.И. Барабановым и другими сотрудниками ИНАСАН на Терскольской обсерватории, в диапазоне 0.35-0.7 мкм была проведена обработка и моделирование спектров отражения.

Для обработки использовался пакет DECH. Калибровка длин волн спектра была сделана, основываясь на бальмеровской линии спектра  $\alpha$  Peg. 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.

Следующий этап - это количественная интерпретация. Она позволяет узнать, какие минералы входят в состав астероида и каково их весовое соотношение. В работе использовались спектры минералов из базы данных RELAB (KECK/NASA REFLECTANCE EXPERIMENT LABORATORY) университета Брауна. В результате для каждого из рассматриваемых астероидов была выполнена количественная оценка относительного содержания в веществе 10 основных минералов, характеризующих его химико-минеральный состав. Контроль достоверности полученных результатов выполняется аналогичным моделированием спектра АСЗ по спектрам отражения метеоритов с изученным составом вещества (из базы данных Университета Виннипег, Канада)

# РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА РАБОТЫ ВЕБ-СЕРВИСА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ О ПЛАНЕТНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО И СЕМАНТИЧЕСКОГО КОНТЕКСТА

**Е.В. Матвеев, А.Ю. Жаркова, А.Б. Дубовицкая**

*Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), Комплексная лаборатория исследования внеземных территорий, г. Москва, Россия, e\_matveev@miigaik.ru*

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

*Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК) Комплексная лаборатория исследования внеземных территорий, г. Москва, Россия*

В рамках проводимых исследований планет и спутников Солнечной системы ведется разработка специализированного ПО - веб-сервиса интеллектуальной системы глобального поиска планетной информации с использованием как пространственного положения объекта, так и его семантического контекста. Базовой составляющей разрабатываемой системы является интеллектуальный анализ входного картографического содержания с помощью веб-сервисов местоположения объекта (Location-Based Service, LBS (Gartner, 2007)).

В ходе проводимых работ выявлено, что внедрение в алгоритм системы интеллектуального поиска метода машинного обучения (нейронной сети) (Матвеев и др., 2016) и последующая его доработка (конкретизация результатов запросов от пользователя) оптимальны для решения поставленных задач, обеспечивают быстрое обучение даже на неполных данных и фильтрацию шумов входных параметров.

Для выявления источников внешних данных, обеспечивающих доступ, как к пространственным планетным данным, так и к семантической планетной информации, и необходимых для реализации алгоритма системы поиска был произведен анализ и сопоставление крупных ресурсов информации. В результате проведенных исследований были отобраны источники информации: различные архивы космических миссий к телам Солнечной системы, научные академические журналы крупных издательств, библиографическая и реферативная база данных опубликованных статей в научных изданиях, новостные сайты космических агентств и поисковые системы по полным текстам научных публикаций. Внешние источники предоставляют большое количество разнообразных данных, организуя к ним доступ с помощью функционала API или поддержкой Post-запросов.

Проведенный анализ новых типов объектов, обнаруженных в процессе детальных исследований поверхности планет, позволил расширить созданную ранее XML-структуру модели планетных данных (Матвеев и др., 2014) для обеспечения хранения унифицированных и стандартизированных данных и организации расширенного поиска планетной информации.

С использованием уточненной планетной модели созданы онлайн-публикации карт: глобальная топографическая карта Фобоса ([http://bit.ly/Phobos\\_topographymap](http://bit.ly/Phobos_topographymap)), обзорная карта северного полушария Меркурия (<http://arcg.is/2gW6zAe>) (Жаркова и др., 2016), детальная карта поверхности Ганимеда на тестовом участке (<http://arcg.is/2gRx1yv>) (Лазарева, Матвеев, 2016).

На основе онлайн-карт планетных тел создан веб-сервис, который реализован в виде картографического интерфейса, обеспечивающего поиск новых планетных данных. Программные модули, которые используются в перечисленных выше картографических онлайн-публикациях, созданы на основе технологий ArcGIS Server и ArcGIS Online (<http://www.arcgis.com/home/>).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-37-00316 «Разработка веб-сервиса для интеллектуального поиска информации о планетных данных на основе пространственного и семантического контекста при онлайн-картографировании» (мол\_a).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gartner G. LBS and TeleCartography. // Location Based Services and TeleCartography, p. 1-11, 2007г.
2. Жаркова А.Ю., Матвеев Е.В., Коханов А.А. Онлайн картографирование Меркурия для представления результатов морфометрических исследований. XIII конференция молодых ученых. Сборник тезисов. Москва ИКИ РАН. 13-15 апреля. 2016г.
3. Лазарева М.С., Матвеев Е.В. Разработка крупномасштабных геоморфологических карт Ганимеда для онлайн-картографирования. Всероссийская научная конференция «Международный год карт в России: объединяя пространство и время», 25-28 октября 2016г.
4. Матвеев Е.В., Брусникин Е.С., Жаркова А.Ю. Анализ методов организации системы интеллектуального поиска семантической и пространственной планетной информации. XIII конференция молодых ученых. Сборник тезисов. Москва ИКИ РАН. 13-15 апреля. 2016г.
5. Матвеев Е.В., Карачевцева И.П., Гаров А.С., Патратий В.Д., Коханов А.А., Козлова Н.А., Лубнин Д.С. Разработка модели данных для оптимизации доступа к результатам дистанционного зондирования небесных тел Солнечной системы на примере Луны // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, № 6, с. 72-81, 2014г.



# ВЫЯВЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ МАКСИМАЛЬНЫХ СДВИГОВЫХ И РАСТЯГИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В НЕДРАХ МАРСА

**А.В. Батов**

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

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

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

Целью работы является расчет напряженного состояния марсианских недр и выявление областей высоких значений сдвиговых и растягивающих напряжений как возможных очагов марсотрясений, что актуально в связи с планируемым сейсмическим экспериментом на Марсе в 2018 году, проект InSight.

На Марсе нет следов плейт-тектоники, а наличие такой гигантской топографической структуры, как поднятие Фарсида, является указанием на присутствие на планете мощного литосферного слоя, способного на протяжении геологических времен упруго поддерживать негидростатические нагрузки. Можно предположить, что если под литосферой Марса и существует тепловая конвекция, то она носит второстепенный характер, и напряженное состояние связано главным образом с упругими деформациями при поверхностных горизонтах планеты, что позволяет использовать при анализе статический подход.

При статическом подходе деформации и напряжения, подчиняющиеся закону Гука, обусловлены давлением на поверхность планеты топографических структур и аномалиями плотности, распределенными некоторым образом в коре и мантии. Расчеты проводятся с помощью техники функций Грина (или методе нагрузочных чисел), развитой в работах [1,2,3,4,5]. С тех пор данные о топографии и гравитационном поле Марса существенно улучшены [6,7]. В настоящей работе топография и гравитационное поле Марса определяются по отношению к референсной поверхности, за которую выбирается равновесный сфероид [8, 9]. Тестовая модель [8] удовлетворяет всем имеющимся на сегодняшний день геофизическим и геохимическим данным, средняя толщина коры полагается равной 50 км, средняя плотность коры равна 2900 кг м<sup>-3</sup>.

Расчеты и сравнение максимальных напряжений растяжения-сжатия и максимальных сдвиговых напряжений проведены для: 1) упругой модели и 2) модели с упругой литосферой толщиной 300 км, расположенной на ослабленном слое, который частично потерял свои упругие свойства. Ослабление астеносферы моделируется пониженным значением модуля сдвига  $m^*$  в астеносфере, которая считается простирающейся до ядра (в данной работе принято  $m^*=0.1m$ ). Напряжения более интенсивны в районе Фарсиды. Локальные максимумы совпадают с расположением вулканов Аскрийский, Арсия, Павлиний. Отчетливые аномалии напряжений прослеживаются в районе Долины Маринеров. В целом, уровень напряжений для модели с литосферой 300 км в 2-3 раза превосходит уровень напряжений, полученные для чисто упругой модели.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жарков В.Н., Марченков К.И., Любимов В.М. 1986. Астрон. вестн. 20. №3, 202-211.
2. Жарков В.Н., Марченков К.И. 1987. Астрон. вестн. 21, №2, 170-175.
3. Марченков К.И., Любимов В.М., Жарков В.Н. 1984. Докл. АН СССР. 15, № 2, 583-586.
4. Марченков К.И., Жарков В.Н. 1989. Письма в астрон. журн. 15, № 2, 182-190.
5. Жарков В.Н., Кошляков Е.М., Марченков К.И. 1991. Астрон. вестн. 25, № 5, 515-547.
6. Smith D.E., Zuber M.T. и др. 2001. J.Geophys.Res. 106 (E10), 23689-23722.
7. Konopliv A.S., Park R.S., Folkner W.M. 2016. Icarus 274, 253-260.
8. Жарков В.Н., Гудкова Т.В. 2016. Астрон. вестн., 50, 250-267.
9. Zharkov V.N., Gudkova T.V., Molodensky S.M. 2009. PEPI, 172, 324-334.

## **АСТРОФИЗИКА И РАДИОАСТРОНОМИЯ**

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

**Г.С. Бисноватый-Коган, С.А. Панафидина**

*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия,  
sofya.panafidina@phystech.edu*

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

*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г.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. Так, к примеру, при одних значениях показателя адиабаты первой становится сингулярной автомодельная переменная, соответствующая плотности газа позади ударной волны. А при других показателя адиабаты раньше становится сингулярной переменная, соответствующая скорости звука.

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.

# ИЗМЕРЕНИЕ КРАСНЫХ СМЕЩЕНИЙ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК

**И.А. Зазнобин<sup>1,2</sup>, Р.А. Буренин<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований

Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

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

<sup>3</sup>Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Россия,  
zaznobin@iki.rssi.ru

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

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

Московский физико-технический институт, г. Москва, Россия

Представлены результаты спектроскопических измерений красных смещений скоплений галактик из расширенного каталога скоплений галактик обзора космической обсерватории им. Планка, полученного с использованием дополнительных данных Слоановского обзора, а также ИК обзора спутника WISE. Эта выборка включает в себя большинство скоплений с массами  $> 3 \cdot 10^{14} M_{\text{sun}}$ , расположенных на северном внегалактическом небе, на красных смещениях  $z < 0.7$ . Скопления именно такой массы будут обнаружены в рентгеновском обзоре всего неба космической обсерватории Спектр-Рентген-Гамма на любых красных смещениях и будут входить во все космологические выборки скоплений галактик, которые будут получены по данным этого обзора.

Для большинства скоплений из этой выборки в Слоановском обзоре имеются спектроскопические измерения красных смещений. Для того, чтобы получить такие измерения для оставшихся скоплений, необходимы дополнительные наблюдения на оптических телескопах. Такие наблюдения в настоящее время начаты на Российско-Турецком 1.5-м телескопе, 1.6-м телескопе АЗТЗЗ-ИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН, 6-м телескопе САО РАН (БТА). В докладе будут представлены первые результаты этой работы, полученные на телескопе АЗТЗЗ-ИК при помощи спектрометра среднего и низкого разрешения АДАМ. Показано, что все необходимые спектроскопические наблюдения для скоплений галактик из этой выборки могут быть выполнены еще до запуска космической обсерватории Спектр-Рентген-Гамма.

# НОВЫЕ ОЦЕНКИ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ МАСС СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК

**А.Р. Ляпин, Р.А. Буренин**

*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия,  
lyapin.ar@phystech.edu*

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

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

В докладе будет обсуждаться работа по уточнению систематических неопределенностей измерений масс скоплений галактик по данным измерений телескопа Чандра в рентгеновском диапазоне. Систематические ошибки рентгеновских измерений масс скоплений были определены из сравнения масс скоплений, полученных по измерениям Чандры, с массами, измеренными путем измерения сигнала слабого гравитационного линзирования. Последние измерения масс по наблюдениям слабого гравитационного линзирования были взяты из литературы, для калибровки масштаба масс скоплений результаты всех измерений сравнивались с измерениями масс скоплений из 2-го каталога обзора всего неба обсерватории им. Планка. Уточнение калибровки масштаба масс скоплений галактик в будущем позволит уточнить ограничения на космологические параметры, которые получаются из измерений функции масс скоплений галактик.

# ГЛУБОКИЕ ПОЛЯ В ОБЗОРЕ ART-XC: МОДЕЛИРОВАНИЕ

**И.А. Мереминский**<sup>1\*</sup>, **Е.В. Филиппова**<sup>1</sup>, **С.Ю. Сазонов**<sup>1</sup>

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

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

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

Для определения оптимальной стратегии проведения глубокого внегалактического обзора телескопом ART-XC обсерватории **Спектр-РГ** мы выполнили моделирование наблюдения площадки неба, населенной популяцией активных ядер галактик (АЯГ). В работе использовались близкие к реальным инструментальные характеристики. Результаты моделирования указывают на то, что подобные обзоры будут крайне полезны для изучения сильнопоглощенных АЯГ, в том числе на  $z \sim 1$ .

# ПРОДЛЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SPI-ACS/INTEGRAL

**П.Ю. Минаев<sup>1</sup>, А.С. Позаненко<sup>1,2</sup>, А.А. Варец<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия, minaevp@mail.ru*

*<sup>2</sup>НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия*

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

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия*

*НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия*

Работа посвящена поиску и исследованию продленного излучения в кривых блеска космических гамма-всплесков по данным SPI-ACS/INTEGRAL. Составлена наиболее полная выборка космических гамма-всплесков, зарегистрированных в этом эксперименте за период с 2002 по 2016 г. и независимо подтвержденных другими КА. Проведена классификация событий – сформированы подвыборки длинных и коротких гамма-всплесков. Поиск продленного излучения проведен в индивидуальных кривых блеска и суммарной кривой блеска для каждой из подвыборок независимо. Продленное излучение было обнаружено и исследовано как в некоторых индивидуальных кривых блеска, так и в суммарной кривой для каждой из подгрупп. Обсуждается возможная природа и модели продленного излучения.

# КОСМИЧЕСКИЙ ГАММА-ВСПЛЕСК GRB 160625B, ЕГО ПОСЛЕСВЕЧЕНИЕ И РОДИТЕЛЬСКАЯ ГАЛАКТИКА

**Е. Мазаева<sup>1</sup>, А. Позаненко<sup>1</sup>, П. Минаев<sup>1</sup>, А. Вольнова<sup>1</sup>, А. Кусакин<sup>2</sup>, И. Рева<sup>2</sup>, В. Румянцев<sup>3</sup>, Б. Хафизов<sup>4</sup>, О. Бурхонов<sup>4</sup>, Р. Инасаридзе<sup>5</sup>, И. Молотов<sup>6</sup>, Е. Клунко<sup>7</sup>, А. Москвитин<sup>8</sup>, Т. Фатхуллин<sup>8</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований

Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, 30.v@mail.ru

<sup>2</sup>Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, г. Алма-Ата, Казахстан

<sup>3</sup>Крымская астрофизическая обсерватория РАН, поселок Научный, Бахчисарайский р-он, Республика Крым

<sup>4</sup>Астрономический институт имени Улугбека, г. Ташкент

<sup>5</sup>Абастуманская астрофизическая обсерватория, Грузия

<sup>6</sup>Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва, Россия

<sup>7</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия

<sup>8</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Зеленчукский район, Карачаево-Черкесская республика, Россия

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

ФГБУН Институт космических исследований

Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия

Гамма-всплеск GRB 160625B был зарегистрирован 25 июня 2016 года в 22:40:16 UT обсерваторией Fermi/GBM. В оптическом диапазоне он является одним из самых ярких ( $V_{\text{max}}=8.8$  зв.вел., по данным Mini-MegaTORTORA и Pi-of-the-sky). В работе проведена фотометрическая обработка данных более 40 наблюдений, проведенных Тянь-Шаньской, Крымской, Майданакской, Абастуманской, Саянской ИСЗФ СО (п.Монды) астрофизических обсерваторий в период от 0.9 до 96 дня после регистрации всплеска. Построена и исследована оптическая кривая блеска, обнаружена родительская галактика.



# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР В МОДЕЛИ НЕЛОКАЛЬНОЙ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ДИФФУЗИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КЛ В ГАЛАКТИКЕ

Р.Т. Сибатов, П.Г. Васильева

Ульяновский государственный университет, г.Ульяновск, Россия

В основе стандартной модели переноса галактических космических лучей (ГКЛ), и ряда её численных реализаций (GalProp, Dragon, Usine, CRpropa, Picard), лежит локальная модель диффузии (LoD), не удовлетворяющая релятивистскому принципу ограниченности скорости. Кроме того, иррегулярности магнитного поля, резко изменяющие направления движения частиц, связаны между собой магнитными силовыми линиями, порождают корреляционные (нелокальные в пространстве и времени) эффекты, не учитываемые в LoD. Работа над устранением этих несоответствий и учёту других особенностей процесса переноса ГКЛ привела к созданию новой модели, названной NoRD (Nonlocal Relativistic Diffusion) [1].

В данной работе мы сравниваем результаты расчетов энергетического спектра и химического состава галактических космических лучей в рамках модели нормальной диффузии и NoRD. Крупномасштабное распределение остатков сверхновых в Галактике моделируется согласно наблюдаемому распределению пульсаров (с учетом 15 известных локальных источников: Vela, Monogem и др.). Для расчета применяется формализм пропагаторов. Для учета влияния гало в NoRD-модели использовано граничное условие Маршака. Фрагментация ядер учтена согласно [3]. Примечательный результат NoRD-модели заключается в том, что при принятых предположениях о происхождении космических лучей релятивистский принцип ограниченности скорости может приводить к укрупнению фонового спектра КЛ при энергиях вблизи наблюдаемого «колена».

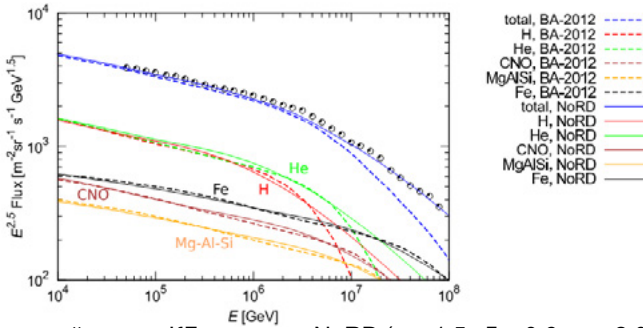


Рис. 1. Энергетический спектр КЛ в модели NoRD ( $\alpha = 1.5$ ,  $\delta = 0.6$ ,  $\gamma = 2.07$ ) в сравнении с результатами [2] модели классической диффузии для различных групп ядер.

Анализ результатов показывает, что отсутствие релятивистского ограничения на скорость распространения КЛ приводит к завышенным значениям концентрации КЛ при достаточно больших энергиях в случае отсутствия обрезания спектра инжекции. Введение в [2] экспоненциального усечения спектра КЛ в источниках (на относительно низких энергиях, для протонов 6 ПэВ) приводит к резкому убыванию спектра, не согласующемуся с наблюдаемым спектром (Рис.) и требует введения экстрагалактической компоненты в районе «колена». NoRD-модель даёт степенное убывание спектра выше излома, правда, требует увеличения максимальной энергии ускорения ядер в остатках сверхновых (>15 ПэВ для протонов, >30 ПэВ для He и т.д.).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Учайкин В.В., Письма в ЖЭТФ 91, 3 (2010); V.V. Uchaikin, R.T. Sibatov, Gravitation and Cosmology 18, 2 (2012); R.T. Sibatov, V.V. Uchaikin, Proc. 34th ICRC (2015).
2. Blasi P, Amato E. (2012) Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, 2012, 010
3. Horandel J. R., Kalmykov N. N., Timokhin A. V. (2007) Astroparticle Physics, 27(2), 119-126.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ГАЗА В ЗОНЕ ИОНИЗАЦИИ ДЛЯ ЗВЕЗД O-В КЛАССА

**А.П. Топчиева**

*Институт астрономии РАН, г. Москва, Россия*

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

*Институт астрономии РАН, г. Москва, Россия*

В последнее время благодаря наблюдениям на космических телескопах инфракрасного и субмиллиметрового диапазона получен значительный объем информации о распределении и эволюции пыли в областях ионизованного водорода, где газ ионизируется молодой массивной OВ-звездой (Churchwell et al. 2006; Anderson et al. 2012). Сложная морфология областей HII в этих диапазонах свидетельствует, что эволюция пыли в таких объектах определяется сложным комплексом процессов и может в значительной степени зависеть как от собственных свойств пыли, так и от ее взаимодействия с газом. Для исследования этих процессов необходимо построение динамической модели, которая позволяла бы самосогласованно рассматривать движение и тепловую эволюцию газа и ансамбля пылевых частиц. Такая модель разрабатывается в Институте астрономии РАН с 2009 года (Кирсанова и др. 2009, Павлюченков и др. 2013, Akimkin et al. 2015). В настоящее время проводится её модернизация, которая позволит рассматривать эволюцию более горячего газа, в классических областях HII, с температурой выше 10000 K. Появление такого газа может быть связано, например, с действием звездного ветра. При этом важную роль в тепловом балансе начинают играть процессы охлаждения, отличные от процессов охлаждения в более холодном газе классических областей HII. Корректный учет этих процессов может оказаться важным при рассмотрении центральных регионов области HII, в частности, при исследовании динамики пылевых частиц в этих регионах. Соответственно, фундаментальная научная проблема проекта состоит в детальном исследовании неравновесных процессов охлаждения высокотемпературного газа в областях ионизованного водорода.

Целью работы является детальное рассмотрение роли ионов и атомов тяжелых элементов в неравновесном охлаждении газа в областях ионизованного водорода при температурах, превышающих 10000 K, в зависимости от спектра центральной звезды. Задача исследования состоит в определении основных охладителей, действующих при температурах и плотностях, характерных для окрестностей различных горячих звезд в областях ионизованного водорода. Благодаря данной работе создан список охладителей, играющих ключевую роль в тепловом балансе областей ионизованного водорода различных значений металличности (от 1/100 до 1 солнечной), что позволит изучать эволюцию областей HII как в нашей Галактике, так и в карликовых галактиках с низкой металличностью. Эти исследования станут частью диссертационной работы.

# ГЕНЕРАЦИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВО ВНЕШНИХ КОЛЬЦАХ ГАЛАКТИК

**Е.А. Михайлов**

*МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, г. Москва, Россия,  
ea.mikhajlov@physics.msu.ru*

Наличие регулярных магнитных полей напряженностью несколько микрогаусс во внутренних областях спиральных галактик в настоящий момент твердо установлено и не вызывает сомнений. Их генерация описывается с помощью механизма динамо, основанного на совокупном действии альфа-эффекта (характеризует «закрученность» турбулентных движений) и дифференциального вращения [Аршакян и др., 2009]. Кроме этого, ряд галактик обладает так называемыми внешними кольцами. Свойства межзвездной среды там являются качественно схожими, поэтому логично предположить, что там также присутствуют регулярные магнитные поля, описываемые аналогичными закономерностями.

В наиболее общем случае динамо средних полей описывается с помощью уравнения Штеенбека – Краузе – Рэдлера, полученного путем усреднения уравнений магнитной гидродинамики по пространственным масштабам порядка 50 – 100 пк [Краузе и Рэдлер, 1984]. Оно оказывается достаточно сложным как для теоретических оценок, так и для численного решения (ввиду больших объемов вычислений). По этой причине обычно используются определенные приближения, позволяющие упростить решаемую задачу.

При исследовании магнитных полей во внутренних областях галактик наиболее часто используется так называемое планарное приближение [Мосс, 1995]. Оно опирается на тот факт, что галактический диск достаточно тонкий. Поэтому можно считать, что диффузия в плоскости диска происходит намного менее интенсивно, чем в вертикальном направлении, а производные вдоль вертикального направления можно заменить на алгебраические выражения.

Мы применили планарное приближение при исследовании магнитных полей во внешних кольцах галактик [Мосс и др., 2016]. Было получено, что генерация магнитных полей *in situ* возможно лишь для достаточно «толстых» колец. Для колец, ширина которых невелика, магнитное поле может возникнуть лишь за счет нелинейной волны, образующейся во внутренних областях галактики и переносящей магнитное поле во внешние кольца.

Тем не менее, стоит отметить, что в отличие от основной части галактики, в случае внешних колец нельзя говорить о том, что их толщина намного меньше, чем размеры в радиальном направлении. Поэтому нет четкой уверенности в том, что планарное приближение адекватно отражает свойства межзвездной турбулентности и процесс генерации магнитных полей. В связи с этим была также рассмотрена модель для магнитного поля с учетом зависимости от расстояния до экваториальной плоскости.

Существенным отличием для магнитных полей в случае наличия зависимости от *z*-координаты явилось то, что становятся возможными решения, обладающие как квадрупольной, так и дипольной симметрией. В случае квадрупольных магнитных полей результаты в целом совпадают с тем, что дает планарное приближение.

Для обеих моделей генерация магнитных полей происходит для значений параметров, реалистических для внешних колец. Отметим, что рост магнитных полей происходит тем медленнее, чем уже кольцо.

Работа была выполнена при поддержке РФФИ (проект №16-32-00056 мол\_a).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аршакян Т. и др. (T.Arshakian, R.Beck, M.Krause, D.Sokoloff) *Astron. Astrophys.*, 494, 21 (2009).
2. Краузе Ф., К.-Х.Рэдлер. *Магнитная гидродинамика средних полей и теория динамо*. М., Мир, 1984г.
3. Мосс Д. и др. (D.Moss, E.Mikhailov, O.Silchenko, D.Sokoloff, C.Horellou, R.Beck) *Astron. Astrophys.* 592, A44 (2016).
4. Мосс (D.Moss) *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, 275, 191 (1995).

# МИГРАЦИЯ ПЛАНЕТ В АККРЕЦИОННОМ ДИСКЕ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ

**О.С. Олейник**

*Государственный астрономический институт им. Штернберга, г.Москва, Россия, os.oleynik@physics.msu.ru*

**Научный руководитель: В.В. Журавлев, к.ф.-м.н., С.Б. Попов, д.ф.-м.н.**

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

Рассматривается двойная система, состоящая из красного гиганта и звезды главной последовательности. Вокруг аккретора существует планетная система, красный гигант теряет массу в режиме звездного ветра, без переполнения полости Роша. Вокруг звезды главной последовательности образуется аккреционный диск. Используются две модели тонкого диска с разными режимами аккреции: в первом случае рассматривается стандартный диск из звездного ветра, во втором случае приток вещества происходит по всей площади диска. Задачей является расчет времени миграции первого типа, вплоть до падения планеты на звезду. Полученное время миграции для различных значений темпа аккреции, большой полуоси, массы планеты и расстояния до звезды сравнивается со временем жизни красного гиганта, из чего можно сделать вывод о выживаемости планет и частоте слияний.

# РАСЧЁТ ЧАСТОТЫ ВСПЫШЕК ОТ СЛИЯНИЙ ЭКЗОПЛАНЕТ СО ЗВЁЗДАМИ

**А.В. Попков**

*Физический факультет Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, av.porkov@physics.msu.ru*

**Научный руководитель: С.Б. Попов, д.ф.-м.н.**

*Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга  
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия*

Недавние исследования (например, Metzger et al., 2012) показывают, что падение планеты на звезду, вызванное приливной эволюцией её орбиты, может приводить к транзиентам, наблюдаемым в оптическом, ультрафиолетовом и мягком рентгеновском диапазонах и по энерговыделению сопоставимым со вспышками новых. В настоящей работе методом популяционного синтеза был оценен темп таких слияний в галактике, подобной Млечному Пути. Нами использовано распределение планет по массам и начальным орбитальным параметрам, основанное на популяционных расчетах Alibert et al., 2011, 2013. Получено распределение событий по типу, зависящему от параметров звезд и планет, и по светимости. На основании расчетов обсуждается стратегия поиска этих явлений на новых обзорных телескопах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Metzger B.D., Giannios D., Spiegel D.S., 2012, MNRAS, 425, 2778.
2. Alibert Y., Mordasini C., Benz, W., 2011, A&A, 526, A63.
3. Alibert Y. et al, 2013, A&A, 558, A109.

# О КОНВЕКТИВНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ АККРЕЦИОННЫХ ДИСКОВ С МИКРОСКОПИЧЕСКИМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ ПЕРЕНОСА

**К.Л. Маланчев, К.А. Постнов, Н.И. Шакура**

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

**Научный руководитель: Н.И. Шакура, д.ф.-м.н.**

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

Вопрос об устойчивости астрофизических аккреционных течений является одним из краеугольных в теории дисковой аккреции. Нами рассматривается ламинарный тонкий аккреционный диск, в котором за перенос и генерацию тепловой энергии отвечают микроскопические процессы. Обнаружено, что, если роль потерь на излучение не велика, то верхние слои диска оказываются конвективно неустойчивыми. Кроме того, если число Прандтля превышает критическое значение  $4/9$ , то кеплеровский диск оказывается полностью конвективным. С другой стороны, оптически толстый диск остается конвективно устойчивым вплоть до очень крутых зависимостей коэффициента вязкости от температуры.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ЛИНИИ ЖЕЛЕЗА В СПЕКТРЕ ИЗЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ПУЛЬСАРА V0332+53

**О.Э. Гаджилы<sup>1,2</sup>, А.А. Лутовинов<sup>1</sup>, С.В. Мольков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия,  
orhan.gadzhily@phystech.edu

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт  
(Государственный университет), г. Долгопрудный, Россия

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

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

Флуоресцентная линия железа на энергии 6.4 кэВ, являясь широко распространенной особенностью в спектрах многих астрофизических объектов, может использоваться также в качестве мощного инструмента для изучения пространственного распределения материи вокруг рентгеновских источников.

В настоящей работе по данным орбитальной обсерватории RXTE мы провели спектрально-временной анализ рентгеновского излучения массивной двойной системы с рентгеновским пульсаром V0332+53 во время интенсивной вспышки, произошедшей в 2005 г.

В частности, мы исследовали зависимости интенсивности отраженного от аккреционного диска излучения (данная компонента содержит линию излучения на энергии нейтрального железа 6.4 кэВ) от фазы вращения пульсара, а также временную задержку между отраженным и «родительским» излучением. Была показана динамика изменения интенсивности излучения звезды и изменение ширины эквивалентной линии железа со временем.

Анализ позволил нам дать некоторые ограничения на параметры аккреционного диска и системы в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Doroshenko V., Tsygankov S., Santangelo A., 2016 A&A 589, A72.
2. Tsygankov S., Lutovinov A., 2009, PoS, Oct 13-17 2009, Otranto, Italy
3. Tsygankov S., Lutovinov A., Churazov E., Sunyaev R., 2006, MNRAS, 371, 19.
4. Tsygankov S., Lutovinov A., Serber A., 2010, MNRAS, 401, 1628.
5. Смарт У., 1965, Небесная механика, М.: Мир.
6. Kohmura T., Kitamoto S. and Torii K., 2001, ApJ, 562, 943.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ПУЛЬСАРНОГО ВЕТРА С МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДОЙ

**А.Е. Петров, А.М. Быков, С.М. Осипов**

*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия, a.e.petrov@mail.ioffe.ru*

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

*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия*

Изучение взаимодействия релятивистского пульсарного ветра с межзвездной средой является необходимой задачей для корректной интерпретации данных многоволновых наблюдений пульсарных туманностей. В данной работе проведено численное Монте-Карло моделирование распространения частиц релятивистского ветра в пульсарной туманности после прохождения ударной волны остановки ветра. Рассмотрен случай сверхзвукового собственного движения пульсара через межзвездную среду.

В докладе будут представлены результаты моделирования спектров релятивистских частиц в окрестности пульсарной туманности и головной ударной волны пульсара, а также результаты вычисления распределений интенсивности синхротронного излучения рассматриваемых частиц.



# МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРА СВЕТИМОСТИ РЕНТГЕНОВСКИХ ПУЛЬСАРОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ АККРЕЦИИ

**Е.А. Соколова-Лапа, К.А. Постнов, М.И. Горностаев**

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

*Физический факультет МГУ, г. Москва, Россия,*

*ea.lapa@physics.msu.ru*

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

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

Наблюдательные характеристики спектров рентгеновских пульсаров, такие как положение фундаментальной циклотронной гармоники и жесткость непрерывного спектра в зависимости от светимости объекта, могут быть объяснены в рамках рассмотрения моделей двух принципиально различных режимов аккреции.

При небольших темпах аккреции, не превышающих  $g/c$ , над поверхностью нейтронной звезды формируется бесстолкновительная ударная волна, расплыванию которой до толщины, сравнимой с длиной свободного пробега фотонов препятствуют коллективные эффекты плазмы. При таком режиме аккреции рентгеновские фотоны, излучаемые в областях полярных шапок, не играют значительной роли в торможении падающего вещества, и излучение уходит через боковые стенки и верх аккреционной колонки. При больших темпах аккреции излучение в оптически толстой колонке активно взаимодействует с плазмой, радиационная ударная волна, распространяющаяся над поверхностью, формирует характерную куполоподобную газодинамическую структуру. Рентгеновские фотоны покидают аккреционную колонку преимущественно через боковые стенки.

В настоящей работе моделируется спектр рентгеновского пульсара и исследуется поведение жесткости непрерывного спектра в зависимости от рентгеновской светимости. Для моделирования спектра используется метод Фотрие, обобщенный на случай двумерной пространственной области. В обоих режимах учитывается многократное комптоновское рассеяние фотонов в среде, в случае большего темпа аккреции в общий коэффициент непрозрачности также включено тормозное поглощение. В расчетах учитывается анизотропия рассеяния фотонов, их частотное перераспределение, а также наличие двух мод поляризации. В качестве подсвечивающего излучения с поверхности нейтронной звезды берется спектр модифицированного черного тела соответствующей температуры.

Изменение жесткости непрерывного спектра согласуется с предсказаниями теоретической модели аккреционной колонки. В рамках исследования также было проведено моделирование спектра рентгеновского пульсара Сер X-4, рассчитанные значения жесткости и ее поведение с изменением светимости объекта согласуются с данными, полученными в результате наблюдений обсерватории NuSTAR.

# О РЕЗУЛЬТАТАХ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ПОИСКУ ГИГАНТСКИХ ИМПУЛЬСОВ СЕКУНДНЫХ ПУЛЬСАРОВ

**А.Н. Казанцев**

*Пушчинская Радиоастрономическая Обсерватория АКЦ ФИАН, г. Пушино, Россия, kaz.prao@bk.ru*

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

*Пушчинская Радиоастрономическая Обсерватория АКЦ ФИАН, г. Пушино, Россия, potap@praou*

Среди разнообразных наблюдательных явлений, демонстрируемых пульсарами, наиболее ярким и интересным является, так называемый, феномен генерации гигантских импульсов (далее ГИ). В научном сообществе до сих пор нет окончательного соглашения, какие именно импульсы называть «гигантскими», но в той или иной степени, как генераторы ГИ, до 2013 года, в литературе указывались 14 объектов. Несмотря на относительно большое количество наблюдательных данных, физика явления оставалась неизученной, в силу того, что все 14 пульсаров достаточно сильно отличались друг от друга по физическим параметрам и не представляется возможным связать феномен только наличием каких-либо определенных факторов или их комбинации. Наиболее полная физическая теория генерации ГИ была построена для, так называемых, «классических пульсаров с ГИ», а именно для В0531+21 (пульсар в Крабовидной туманности) и миллисекундного пульсара В1937+21, которые обладают рекордными для пульсаров значениями пиковой плотности потока (ГИ этих пульсаров превосходят регулярное излучение в  $\sim 10^6$  раз) и сильным магнитным полем на световом цилиндре ( $\geq 10^5$  Гс). Мощные импульсы от других пульсаров группы ГИ или не обладают такими пиковыми значениями и/или имеют магнитное поле куда менее сильное. В последнее время для мощных импульсов этой группы пульсаров в литературе применяется термин – импульсы аномальной интенсивности.

С целью увеличения количества наблюдательных данных для уже известных пульсаров северного полушария с ГИ и возможного обнаружения явления у других объектов, на радиотелескопе БСА ФИАН Пушчинской обсерватории (рабочая частота приема – 111.8 МГц) были организованы две программы наблюдения: мониторинговая и поисковая. Критериями для наблюдательной выборки были не физические параметры пульсаров, а возможность их качественного наблюдения на телескопе: склонение пульсара не ниже  $-10^\circ$ , период вращения  $> 50$  мс, мера дисперсии  $< 200$  см<sup>-3</sup>пк. Критерием «гигантский/не гигантский» было выбрано 30-кратное превышение пиковой плотности потока в импульсе над пиковой плотностью потока в среднем профиле пульсара.

Начальный этап поисковой программы, включающий в себя 10 пульсаров, практически сразу дал результат в виде обнаружения импульсов, которые можно было интерпретировать как ГИ от пульсара В1237+25. После этого количество пульсаров в программе поиска было увеличено и на сегодняшний день, в той или иной мере, с целью поиска феномена были произведены наблюдения 70 пульсаров.

Одним из последних обнаружений импульсов, многократно превышающих регулярное излучение по пиковой плотности, являются индивидуальные импульсы пульсара В0301+19. Пульсар В0301+19 является секундным, со слабым магнитным полем на световом цилиндре. Пульсар имеет двухкомпонентный средний профиль. Было зарегистрировано 12 импульсов удовлетворяющих выбранному критерию, из них: 3 в первой компоненте среднего профиля, 9 во второй. Подобное явление в ранних работах по данному пульсару не освещалось.

# ПЛАНЕТА ПУЛЬСАРА PSR B0329+54

## Е.Д. Старовойт

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН,  
г. Пушино, Россия, starovoyt.prao@gmail.com  
Пушчинский государственный естественно-научный институт,  
г. Пушино, Россия

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

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН,  
г. Пушино, Россия

В настоящей работе был проведён тайминг пульсара PSR B0329+54 по данным, полученным за период 1968-2012гг. на трёх радиотелескопах:

1. Радиотелескоп БСА ФИАН, Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН. Рабочая частота 102 МГц, 111 МГц. Период наблюдений: 1978-2012 гг.;
2. РТ-64, Калязинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН. Рабочая частота 600 МГц. Период наблюдений: 1997-2001 гг.;
3. DSS 14, Jet Propulsion Laboratory. Рабочая частота 2388 МГц. Период наблюдений: 1968-1985 гг.;

Обработка всего объёма данных, охватывающего 44 года наблюдений, проводилась в программе Tempo.

В остаточных отклонениях, полученных в результате хронометрирования, наблюдалась гармоническая модуляция, на основе которой была подобрана модель движения планеты и определены основные параметры: проекция массы планеты  $m_1 \sin i_1 = 2M_{\oplus}$ , эксцентриситет орбиты  $e_1 = 0.26$ , период обращения  $P_1 = 27.76$  лет.

Т.к. у данного пульсара было подозрение на существование второй планеты с трёхлетним периодом, из остаточных отклонений была вычтена модель, соответствующая движению первой планеты. После чего в остаточных отклонениях действительно наблюдалась некоторая модуляция, однако фаза и амплитуда колебаний были нестабильны. Дальнейшая подгонка гармонической кривой и Фурье-анализ показали, что к наблюдаемой модуляции нельзя подобрать модель, которая могла бы соответствовать движению планеты. Наблюдаемая в остаточных отклонениях модуляция квазипериодична, и, вероятнее всего, является отображением каких-либо процессов, происходящих в самом пульсаре или на его поверхности.

Таким образом, у пульсара PSR B0329+54 есть одна планета, обращающаяся с периодом  $P_1 = 27.76$  лет. Наличие второй планеты не подтвердилось.

# ИНДИКАТОРЫ МАССЫ ПРОТОПЛАНЕТНЫХ ДИСКОВ

**Т.С. Молярова<sup>1,2</sup>, В.В. Акимкин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт астрономии РАН, г. Москва, Россия, stripe.tea@gmail.com*

<sup>2</sup>*Московский физико-технический институт (государственный университет), Московская обл., г. Долгопрудный, Россия*

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

*Институт астрономии РАН, г. Москва, Россия*

Одним из ключевых параметров протопланетного диска является его масса, которая существенно влияет на процесс формирования будущей планетной системы. Большая часть массы сосредоточена в молекулярном водороде, который не излучает наблюдаемых линий, поэтому обычно в качестве индикатора массы межзвёздного газа используется излучение молекулы CO. Однако вследствие специфичности физических условий в протопланетных дисках (высокая плотность и низкая температура в центральной плоскости диска, которая не прогревается излучением звезды) значительная часть CO может вымерзнуть на пыль и становиться ненаблюдаемой, что делает CO соединением, плохо подходящим для определения массы. Несмотря на это, в некоторых современных работах масса протопланетных дисков определяется по излучению CO.

В работе с помощью астрохимического моделирования вычисляется доля CO в газовой фазе при различных физических параметрах протопланетного диска. Показано, как эффект вымерзания CO влияет на оценку массы. Также рассмотрена применимость других соединений в качестве индикаторов массы диска.

## **ТЕХНОЛОГИИ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА**

# РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

**Е.В. Самофал, С.А. Барталёв**

*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия,  
samofal@d902.iki.rssi.ru*

**Научный руководитель: С.А. Барталёв, д.т.н.**

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

Технология составления карт подстилающей поверхности хорошо развита для данных видимого и ближнего инфракрасного диапазона электромагнитного спектра. Однако в микроволновой области создание подобного продукта связано с определёнными трудностями, которые вызваны, в частности, сильными вариациями удельной эффективной поверхности рассеивания при различных условиях: угле падения излучения, поляризации направленной/отражённой волны, диэлектрических свойств подстилающей поверхности. В то же время высокое пространственное разрешение, возможность получения данных независимо от условий освещения и погоды являются стимулом для проведения подобных исследований.

В работе осуществлялись эксперименты по созданию карты подстилающей поверхности на основе бесплатно распространяемых данных спутника Sentinel-1A, работающего в С-диапазоне (5,6 см) микроволновой области. Тестовый регион представляет собой территорию Липецкой области, на которую были получены временные серии разнополяризованных амплитудных изображений с пространственным разрешением 9,8×9,8 м за период июнь-август 2015 г. Обучающая выборка включает в себя поля с сельскохозяйственными культурами (подсолнечник, кукуруза, пшеница, рапс), водную поверхность и лес (хвойный и лиственный). Для оценки проведённого картографирования была использована матрица перепутывания.

Точность классификации по максимуму правдоподобия составила 83 %. Наилучшие результаты показали подсолнечник, пшеница и водная поверхность.

Работа проводилась при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России. Контракт 14.616.21.0063 «Развитие автоматизированных методов и информационных технологий глобального спутникового мониторинга сельского хозяйства в поддержку программы GEOGLAM», уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI61615X0063. Обработка спутниковых данных и программная реализация методов были выполнены с использованием ресурсов ЦКП ИКИ-Мониторинг.

# ГОРЫ РЮМКЕРА: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВОЗРАСТНОГО КАРТИРОВАНИЯ

**А.А. Дмитриевский, Г.В. Махатадзе, М.А. Захарова, Е.Н. Слюта**  
*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского  
Российской академии наук (ГЕОХИ РАН), г. Москва, Россия,  
sandr200@gmail.com*

Горы Рюмкер, находящиеся в Океане Бурь, являются вулканическим куполом. Интерес к нему и близлежащим регионам обусловлен широким возрастным диапазоном местных пород от раннеимбрийского до коперниковского, а также слабой изученностью территории [1]. Регион является возможной целью лунохода «Робот-Геолог» [2, 3]. Для подготовки миссии уже начато изучение морфологии поверхности, истории развития и вулканического вещества территории. Диаметр купола 70 км, а над близлежащей территорией он возвышается примерно на 1 км [4]. Склоны асимметричны, восточный положе. Поднятие включает в себя как минимум 10 отдельных вулканов, на вершине некоторых есть кальдеры.

Методология:

Исследование основывается на мозаике снимков LRO WAC, имеющие разрешение 100 м/пиксель. Подсчет кратеров осуществлялся при помощи инструмента ArcGIS CraterTools. Для кратерной статистики использовалась программа Craterstats.

Основываясь на морфологических, топографических [4] данных и данных по альбедо регион можно разделить на 2 области: вулканическую провинцию и окружающую морская равнина. Возраста обоих получены при анализе распределения кратеров. Использовались только кратеры с диаметром более 500 м.

Результаты:

Средний возраст вулканической провинции нами оценивается в 3.79 млрд. лет, что соответствует раннеимбрийскому возрасту [1]. Средний возраст окружающей равнины 3.77 млрд.лет. Несмотря на то, что эти возраста очень близки, они хорошо различаются по кратерной статистике. Следует отметить, что базальты окружающей равнины имеют возраста от ранне- и позднеимбрийского ( 3.85 – 3.2 млрд.лет) до Эрастосфенского (3.2 – 1.1) и коперниковского (около 1.1 млрд.лет) [1].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Wilhelms D. E. (1987) The Geologic History of the Moon. Washington. US Government Printing Office.
2. Slyuta E. N., Galimov E. M., Marov M. Ya. (2014) Thematic geological survey on the Moon. In: Fundamental space research. V. 2. Solar System. Ed. G.G. Raikunov. Moscow, Fizmatlit. P. 103-128.
3. Slyuta E. N. (2016) Project «Lunar Robot-Geologist»: concept, scientific problems, scientific equipment, technical configuration. The Seventh Moscow Solar System Symposium. October 10-14, 2016. Moscow.
4. Zakharova M. A. and Slyuta E.N. (2016) The multi-scale mapping of Mons Rumker area for designing lunar rover's route purpose. The Seventh Moscow Solar System Symposium. October 10-14, 2016. Moscow.
5. Trask N. J. (1966) Size and spatial distribution of craters estimated from the Ranger photographs. NASA Technical Report.

# РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОНАВИГАЦИОННОГО ПОЛЯ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС

**В.В. Сазонов, В.Ю. Кузьмин, Т.Е. Романенко, И.А. Самыловский,  
А.Н. Семёнов, Е.Ю. Макарова, Д.М. Медведев, О.В. Морозов**  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Московский государственный университет  
имени М.В.Ломоносова», г. Москва, Россия, [ivan.samylovskiy@cs.msu.su](mailto:ivan.samylovskiy@cs.msu.su)*

Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС состоит из сотен составных частей - космических аппаратов, системы дифференциальной коррекции и мониторинга, станций наземного комплекса управления. Каждая часть имеет набор из сотен тактико-технических характеристик, которые как по отдельности, так и совокупности с показателями смежных составных частей спутниковой системы, должны укладываться в определенные конструкторской документацией нормативы. Целью настоящей работы является разработка программных средств для:

- обеспечения комплексного отображения текущего состояния и результатов работы системы для анализа и эффективного выполнения поставленных задач;
- упрощенного обнаружения и обработки нештатных ситуаций в работе системы;
- наглядного представления принципов и результатов работы систем.

Решаемые задачи:

- обеспечение 3D и 2D моделирования положения и эффективное отображение космических аппаратов ГЛОНАСС, составных частей системы, контролируемых потребительских характеристик, космических объектов, смежных систем (зарубежных станций сбора измерений и центров анализа, функциональных дополнений и пр.), информационных потоков в реальном масштабе времени;
- визуализация справочных и текущих параметров составных частей ГЛОНАСС в реальном масштабе времени;
- вывод эффективной индикации состояния отображаемых объектов;
- обеспечение помощи оператору в обнаружении и локализации причин внештатных ситуаций в работе системы.



# СПУТНИКОВЫЙ РАДИОМЕТР ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ ПОСТОЯННОЙ «ИСП-2М»

**М.Ю. Червяков, М.Б. Богданов**

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия, kafmeteo@mail.ru*

Измеритель солнечной постоянной нового поколения (ИСП-2М) предназначен для прецизионных измерений интегральной энергетической освещённости прямой солнечной радиации (величины солнечной постоянной) в диапазоне 0,2...100 мкм в абсолютных единицах с погрешностью среднесуточного измерения ~ 0,01%.

Солнечный радиометр, каковым является измеритель солнечной постоянной (ИСП) в различных модификациях принимал участие в работе на ИСЗ «Космос-1484», в совместных российско-французских экспериментах на «Метеор-3» № 7 и «Ресурс-01» № 4. Особенно плодотворным был период работы на «Метеор-3» № 7, когда удалось обнаружить появление осцилляций солнечного потока при резких изменениях индексов солнечной активности [1,3].

В 2003 г. было принято решение об установке радиометра на геостационарные ИСЗ серии «Электро-Л». Прибор был полностью модернизирован как в технической, так и, особенно, в электронной его составляющих и получил название ИСП-2М.

ИСП-2М представляет собой единый блок, содержащий механическую и электронную части. Механическая часть содержит двухкоординатную следящую систему с установленным на ней измерительным блоком, который включает в себя два идентичных измерительных канала: один из них является основным, рабочим и действует постоянно, второй – калибровочный, включается по внешней команде и служит в качестве бортового эталона для проверки рабочего канала. В каждом измерительном канале используется полостной приёмный элемент болометрического типа. Следящая система ИСП-2М обеспечивает слежение за Солнцем по углу азимута в диапазоне от минус 175 до плюс 175, по углу места в диапазоне от минус 10 до плюс 40.

На «Электро-Л» № 1 20 января 2011 г. был осуществлен запуск первого прибора ИСП-2М. Информация с ИСП-2М принималась 4-7 марта. В этот период измеритель ИСП-2М работал в штатном режиме, все функции чётко выполнялись. Данные регистрации позволили получить 8 серий наблюдений продолжительностью от 11 до 24 отсчётов радиации в различных сериях [2].

Радиометр подтвердил возможность работы с относительной погрешностью (в его шкале) на уровне 0,01%, а в условиях геостационарной орбиты, при высоких склонениях Солнца появляются участки, где ежесуточная продолжительность непрерывных наблюдений достигает 10-11 часов. Учёт опыта работы первого измерителя, позволил улучшить работу следующего радиометра ИСП-2М. Запуск второго измерителя был осуществлен на ИСЗ «Электро-Л» № 2 11 декабря 2015 года, а в феврале уже стали поступать первые данные. Измерения с ИСЗ «Электро-Л» № 2 были сравнены с данными проекта VIRGO, опубликованных на сайте PMOD (pmodwrc.ch).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Скларов Ю.А. и др. Солнечная постоянная // Известия РАН. Серия Физика. 1998. Т.62, № 6. С. 1186-1191.
2. Скларов Ю.А., Воробьев В.А., Котума А.И., Сахаров В.К., Клочков С.А., Червяков М.Ю., Фейгин В.М. Радиометр ИСП-2М на геостационарной орбите // Тезисы. Девятая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 14-18 ноября 2011 г.
3. Скларов Ю.А. и др. Поиск осцилляций солнечного потока по наблюдениям со спутника «Метеор-3» №7 // Письма в Астроном. журнал. 1997. Т. 23. № 10. С. 771-778.

# ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА ИОШКАР-ОЛА ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

**Н.Н. Бардаков**

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Государственный Университет»  
(ФГБОУ ВО «СпбГУ»), г. Санкт-Петербург, Россия, аспирант,  
turmakil@mail.ru

Общая площадь лесов Республики Марий Эл составляет 1277 тыс. га, в том числе, на пригородные, примыкающие к городской черте г. Йошкар-Ола, приходится 68,87 тыс. га. Эти массивы имеют важное водоохранное, эстетическое, рекреационное, почвозащитное значение. Зелёная зона является излюбленным местом отдыха населения, поэтому здесь функционируют учреждения стационарного отдыха, лыжные базы, ведётся строительство коттеджей и дач, что оказывает сильное антропогенное влияние на все компоненты лесных сообществ, в том числе, на жизнеспособность древостоев и приводит к ухудшению их состояния. Комплексное изучение состояния пригородных лесов Йошкар-Олы является важным аспектом и подтверждает **актуальность** выбранной темы исследования.

**Цель** исследования – провести оценку экологического состояния пригородных лесов города Йошкар-Ола с использованием мультиспектральных спутниковых снимков среднего разрешения Landsat.

Для выполнения этой цели были решены следующие **задачи**:

1. Подобрать спутниковые снимки Landsat на территорию исследования.
2. Заложить тестовые участки на исследуемой территории для оценки точности создаваемой тематической карты.
3. Создание тематической карты пригородной зоны г. Йошкар-Ола на основе снимка Landsat.
4. Оценка точности тематической карты.
5. Провести оценку экологического состояния лесов пригородной зоны на основе пространственных индексов.

**Объектом** исследования являются площади лесных земель на территории пригородной зоны г. Йошкар-Ола.

**Методика исследования.** Для более детальной пространственной оценки пригородных лесов в пределах исследуемой территории были выделены 10 областей в границах сельских поселений, согласно территориально-муниципальному устройству.

На основе изучения российских и зарубежных источников по теме исследования, для оценки экологического состояния пригородных лесов города Йошкар-Ола были использованы следующие критерии: 1) равномерность распределения деревьев, 2) лесистость, 3) представленность условно-коренными лесами, 4) фрагментированность, 5) биоразнообразие, 6) степень деградации древостоя, 7) соотношение искусственных и естественных насаждений, 8) нарушенность, 9) площадь ООПТ в пределах территории исследования. Значения индексов определялись для каждой области и оценивались по шкале состояния экосистем.

**Выводы.** Древостой относительно устойчив к антропогенному воздействию. Большая часть древостоев не подвержена явной степени деградации. Наблюдаются только отдельные явления в местах нахождения объектов повышенной антропогенной нагрузки (зоны ТБО, карьеры и т.п.).

Метод интегральной оценки состояния лесов пригородной зоны г. Йошкар-Олы, позволил выявить степень благополучия, с точки зрения экологического состояния районов пригородной зоны.

Анализ сложившейся экологической ситуации выявил тенденцию увеличения степени антропогенного влияния населенных пунктов на лесные земли оцениваемой территории.

# **ВОЗМОЖНОСТИ ПОДГОТОВКИ ИНТЕРНЕТ-ПУБЛИКАЦИЙ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕМЕЙСТВЕ «СОЗВЕЗДИЕ-ВЕГА»**

**А.М. Константинова, И.Г. Сычугов, И.В. Балашов**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия,  
konstantinova.anouk@gmail.com*

**Научный руководитель: Е.А. Лупян, д.т.н.**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия*

В различных информационных системах семейства «Созвездие-Вега» существуют достаточно сложные интерфейсы для анализа и обработки данных, ориентированные на распределенную работу. В процессе работы с ними возникают задачи, когда нужно выделить достаточно ограниченный набор информации (в том числе результатов обработки) для того, чтобы представить ее на обсуждение коллективу, который ведет какой-то конкретный проект, или для широкого представления. При этом требуется не только сформировать набор данных, но и создать простой инструмент для их просмотра и анализа. То есть требуется создать схему интернет-публикации информации из интерфейсов систем семейства «Созвездие Вега». Для реализации такой возможности была создана технология SMIS Viewer.

Данная технология представляет собой инструментарий для сохранения набора данных в картографическом web-интерфейсе системы семейства «Созвездие-Вега», инструмент для просмотра сохраненной информации, интерфейс для управления наборами данных.

Пользователь, работая с картографическим web-интерфейсом системы семейства «Созвездие-Вега», имеет возможность в любой момент сохранить его состояние – набор спутниковых данных и результатов обработки для выбранного экстенда карты. В результате сохранения он получает ссылку на просмотр этих данных в SMIS Viewer, который представляет собой также картографический web-интерфейс но с ограниченным набором функционала. SMIS Viewer позволяет просматривать сохраненные слои спутниковых данных в заданном экстенде карты, минимальный масштаб карты – масштаб, для которого был сохранен набор. Данной ссылкой может воспользоваться любой получивший ее пользователь, так как SMIS Viewer не требует от пользователя быть авторизованным в системе семейства «Созвездие Вега».

Доклад посвящен описанию созданной технологии SMIS Viewer. Проводится обзор архитектуры и возможностей системы. Рассказывается о процессе создания пользователем интернет-публикации с помощью SMIS Viewer, приводятся примеры публикаций.

# СОЗДАНИЕ МУЛЬТИМАСШТАБНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ 3D-МОДЕЛИ НА РАЙОН ПРЕДПОЛАГАЕМОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ЛУННОЙ БАЗЫ

**М.А. Захарова**

*ГЕОХИ РАН, г. Москва, Россия, mari.al.zakharova@gmail.com*

**Научный руководитель: Е.Н. Слюта, к.г.-м.н.**

*ГЕОХИ РАН, г. Москва, Россия*

Целью работы является создание мультимасштабной навигационной трехмерной модели, отображающей реальную обстановку в районе предполагаемого размещения обитаемой лунной базы. Данная модель необходима для автономной навигации посадочного комплекса при подлете к выбранному нами месту. Речь идет о возвышенности на южном полюсе, расположенной в пределах полигона 15×15 км.

Изначально в ходе работы был проведен анализ комплекса современных требований к размещению и определение потенциального района развертывания лунной базы в соответствии с научными и практическими задачами. Следующим шагом стало исследование таких характеристик территории, как: характеристика рельефа, степени освещенности и температурных условий в потенциальном районе размещения лунной базы.

Далее следовало непосредственное создание самой навигационной модели. Сначала была составлена мелкомасштабная обзорная карта рельефа луны с разрешением более 100 метров, для моделирования ситуации на подлете посадочного комплекса к Луне.

Для создания высокодетальной навигационной модели на саму область размещения базы создавались цифровая модель рельефа разрешением в 1 метр и карта текстур – мозаика из оптических изображений, которые в сумме дают навигационную 3D модель. Для этого был проведен отбор крупномасштабных снимков узкоугольной камеры NAC LRO на предполагаемый район лунной базы, подходящих для стереофотограмметрической обработки с учетом таких критериев, как величина пространственного разрешения, продольного параллакса, доли перекрытия, угла наклона съемочной системы. Необходимое количество крупномасштабных цифровых моделей рельефа было определено таким образом, чтобы обеспечить полное покрытие предполагаемого района лунной базы. В итоге создание крупномасштабных цифровых моделей рельефа проводилось путем автоматической стереофотограмметрической обработки снимков NAC LRO, где итоговые модели имеют пространственное разрешение 1 м.

Также работа включает в себя сравнительный анализ полученных крупномасштабных цифровых моделей рельефа относительно друг друга и данных лазерной альтиметрии модуля LOLA и редактирование трехмерного облака точек.

После того как нами были получены мозаика из оптических изображений и цифровая модель рельефа, в сумме дающие нам реальное отображение местности по средствам трехмерной навигационной модели, проводилось вычисление уклонов подстилающей поверхности в районе предполагаемой лунной базы. Это осуществлялось с целью выделения наиболее благоприятных участков для размещения элементов инфраструктуры обитаемой лунной базы.

# ИНСТРУМЕНТЫ ИНТЕРАКТИВНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ «СОЗВЕЗДИЕ-ВЕГА»

**А.В. Кашницкий, М.А. Бурцев, Д.А. Кобец, А.М. Матвеев, И.В. Балашов**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия*

Во многих информационных системах дистанционного мониторинга перед исследователями стоит задача выделения на спутниковых данных различных объектов. В частности, в спутниковом сервисе VolSatView «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» стоит задача оконтуривания пепловых шлейфов после извержений вулканов, в спутниковом сервисе See the Sea для исследования процессов на поверхности океана - выделения различных загрязнений морской поверхности, например нефтяных пятен, а в спутниковых сервисах «Вега-Pro» и «Вега-Science» - выделения лесных гарей. Несмотря на разный характер задач они могут быть решены достаточно однотипным путем. В докладе рассказывается о таком пути с применением внедренного в эти системы инструмента анализа и обработки спутниковых данных, основанного на автоматической классификации. Инструмент базируется на применяющихся в ИКИ РАН технологиях распределенной обработки спутниковых данных из сверхбольших архивов. Основная идея заключается в том, чтобы заменить визуальное оконтуривание объектов (нефтяных пятен, гарей, пепловых шлейфов и т.д.) процедурой анализа результатов неконтролируемой классификации. Таким образом, удастся максимально автоматизировать выявление тех или иных объектов, чтобы облегчить работу эксперта и понизить уровень субъективности решений. Это открывает возможности проведения таких работ на больших территориях достаточно ограниченным числом операторов. Также отметим, что в указанной схеме могут совершенно однотипно применяться разнородные спутниковые данные, разного разрешения, оптические и радарные. В докладе рассказывается об инструменте, позволяющем проводить классификации, принципах его работы, описанной выше схеме выявления объектов и приводятся примеры решения практических задач по этой схеме в различных информационных системах. Разработка методов и базовых элементов для реализации обсуждаемых инструментов осуществлялись при поддержке РФФИ (грант 16-37-00427 мол\_а), реализация инструментов в информационных системах семейства «Созвездие-Вега» выполнялась при поддержке ФАНО (тема «Мониторинг», госрегистрация №01.20.0.2.00164).

# ПОСТРОЕНИЕ НА ОСНОВЕ VI-ТЕХНОЛОГИЙ ИНСТРУМЕНТОВ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В СЕРВИСАХ СОЗВЕЗДИЯ ВЕГА

**Д.А. Кобец, И.В. Балашов, И.Г. Сычугов, В.А. Толпин**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия*

В настоящее время данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) все шире используются для количественной информации о различных объектах и территориях. Примерами такой информации являются, например, ряды ежегодно обновляющихся карт растительного покрова, пахотных земель, земель занятых различными видами посевов, базы данных наблюдений природных пожаров и т.д.

При этом во многих случаях данная информация может быть достаточно хорошо структурированной и на основе нее можно анализировать как пространственную, так и временную динамику различных объектов и явлений. Для проведения такого изучения необходимы инструменты, которые позволяют представить информацию в удобном для анализа виде, например, в графической, табличной или пространственной форме, а также осуществлять удобный выбор различных параметров. Одними из наиболее быстро развивающихся в этом направлении технологий создания подобных инструментов являются VI-технологии (Business intelligence), основанные на построении хранилищ структурированной информации на основе OLAP-структур (online analytical processing).

В докладе рассматриваются:

- Эффективность предлагаемых VI-технологиями подходов для работы с информацией полученной на основе спутниковых данных
- Возможности основных типов интерфейсов предназначенных для анализа результатов обработки спутниковой информации

Работа выполнена при поддержке РАН и ФАНО (программа Мониторинг госрегистрация № 01.20.0.2.00164). Методы автоматического картографирования растительного покрова в последние годы развивались при поддержке Российского научного фонда (проект №14-17-00389).

# ДЕШИФРИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЗОНАЛЬНО-ВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

**Е.А. Стыценко**

*Московский государственный университет геодезии и картографии,  
г. Москва, Россия  
Российский государственный университет правосудия, г. Москва, Россия,  
ekaterina\_stytsenko@mail.ru*

**Научный руководитель: А.Т. Зверев, д.г.-м.н., профессор**

*Московский государственный университет геодезии и картографии,  
г. Москва, Россия*

Необходимость мониторинга состояния растительного покрова, качество и рациональное использование которого во многом обуславливает уровень жизни человека, заставляет осуществлять поиск все новых решений по получению достоверной информации о растительном покрове земной поверхности и ее оперативной обработке. В постоянном развитии находятся автоматизированные методы обработки аэро- и космической информации. Необходимость повышения достоверности классификации космических изображений обуславливает актуальность данного исследования.

В исследовании рассмотрена возможность повышения достоверности дешифрирования объектов растительного покрова земной поверхности с использованием автоматизированных методов обработки зонально-временных изображений. Для проведения исследования использовались шесть изображений, полученных с космического спутника Landsat-8 за январь, март, май, июль, август, сентябрь 2014 года на территорию Кольчугинского района Владимирской области.

Была проведена контролируемая классификация методом гиперпараллелепипеда каждого разносезонного космического изображения и 13-и их различных комбинаций – зонально-временных изображений, составленных из 2-6 разновременных космических изображений. В результате классификаций были созданы карты растительности, на которых выделены следующие классы: объекты гидрографии, хвойный лес, смешанный лес, лиственный лес, вырубки леса, появившиеся в 2014 году вырубки, пашня, залежь, кормовые угодья, 2 класса молодого леса в зависимости от степени зарастания вырубок и сельскохозяйственных угодий.

Для оценки достоверности классификации, подразумевающей оценку точности совпадения полученных классов и классов местности, был применен метод, основанный на построении матрицы классификации. Для всех классифицированных изображений были рассчитаны вероятности верного определения пикселя каждого класса, неверного определения пикселя как пикселя каждого класса, общая вероятность правильной классификации и индекс к каппа Коэна, вносящий поправку на случайность.

Проведенная количественная оценка показала, что показатели, характеризующие общую достоверность, существенно выше для зонально-временных изображений ( $79\% < k < 92\%$ ), чем для одиночных ( $56\% < k < 68\%$ ). Кроме того, индекс к каппа Коэна тем выше, чем из большего количества разносезонных изображений состоит зонально-временное изображение. Следовательно, прослеживается зависимость достоверности классификации от количества изображений, участвующих в совместной обработке.

# ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ LANDSAT-TM/ETM+/OLI-TIRS

**П.А. Колбудаев, С.А. Барталёв, А.М. Матвеев, Д.Е. Плотников, В.А. Егоров**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, Россия, smis@smis.iki.rssi.ru*

В последние годы данные спутниковых наблюдений высокого пространственного разрешения (10-30 м) приобретают всё большую доступность. В первую очередь это относится к данным спутников серии Landsat, глобальный многолетний архив которых ежедневно пополняется новыми изображениями. Сформированный в ИКИ РАН архив данных Landsat-TM/ETM+/OLI-TIRS в настоящее время содержит более 650 тысяч изображений, десятки раз покрывающих территорию России и сопредельных стран, а также некоторые участки Северной и Южной Америки, Африки. Наличие временных серий такого рода данных открывает новые возможности получения производных информационных продуктов, таких как безоблачные композитные изображения, границы однородных в спектрально временном отношении участков для построения карт сельскохозяйственных полей или лесных выделов.

В докладе описана разработанная автоматизированная технология обработки временных рядов спутниковых изображений со спутников серии Landsat, включающая в себя:

- Созданный на основе алгоритма Fmask модифицированный метод фильтрации облачности и теней от неё с учетом «постоянно светлых объектов» (например, снег и песок, дороги и крыши домов в городах), часто ошибочно детектируемых как облака. Анализ влияния атмосферно скорректированных данных при их использовании при подсчете масок облачности и теней;
- Технология построения безоблачных композитных изображений, успешно апробированная для всей территории Северной Евразии с использованием данных Landsat-TM/ETM+/OLI-TIRS за различные годы, сравнение с композитными изображениями, которые были построены на отдельные территории при использовании атмосферно скорректированных данных;
- Технология построения безоблачных снежных композитных изображений по атмосферно скорректированным данным Landsat-TM/ETM+/OLI-TIRS;
- Метод автоматического выделения устойчивых водных объектов на основе временных рядов данных спутников серии Landsat.



# ИЗМЕНЕНИЯ КВАЗИГЛОБАЛЬНОГО ОЗОНА В ПЕРИОД 1979-2015 ГГ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ СПУТНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

**М.П. Никифорова**

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,  
г. Симферополь, Республика Крым, nikiforovamp@yandex.ru*

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

*Центральная аэрологическая обсерватория*

Исследованы изменчивость и тренды общего содержания озона (ОСО) в период 1979-2015 г.г. в различных широтных поясах и квазиглобального в поясе 60° ю.ш. - 60° с.ш. с использованием среднемесячных данных базы реанализа ERA-Interim и данных, измеренных спутниковой аппаратурой TOMS/OMI, SBUV а также GOME/SCIAMACHY/GOME2. Несмотря на достаточную степень согласованности результатов спутникового мониторинга изменчивости озона в атмосфере, значения ОСО в различных базах данных несколько различаются. Так, например, значения средней разности среднегодовых квазиглобальных значений ОСО по данным SBUV, GOME/SCIAMACHY/GOME2 и ERA-Interim с данными TOMS/OMI за общий период наблюдений составили -0.8, 1.8 и -0.2 ед.Д., соответственно, а стандартных отклонений между ними - 2.0, 2.7 и 3.4 ед.Д., соответственно. Для моделирования долговременной изменчивости ОСО использованы данные Арктического и Антарктического колебаний, квазидвухлетних колебаний зонального ветра в экваториальной стратосфере, Эль-Ниньо-Южного колебания, среднезонального меридионального потока тепла в нижней стратосфере, солнечной активности (СА), содержания в стратосфере озоноразрушающих соединений (ОРС) и вулканических аэрозольных частиц. Долговременные изменения квазиглобального ОСО хорошо описываются регрессионной зависимостью от ОРС и СА; в отдельных широтных зонах для более точного количественного описания временного хода ОСО следует дополнительно учитывать некоторые из перечисленных выше факторов влияния.

# СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТАВЛЯЮЩИХ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ЗЕМЛИ ВО ВРЕМЯ ЯВЛЕНИЙ ЭЛЬ-НИНЬО В ТИХОМ ОКЕАНЕ

**А.А. Спиряхина, М.Ю. Червяков**

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия, kafmeteo@mail.ru*

**Научный руководитель: М.Ю. Червяков, к.г.н.**  
*СГУ им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия*

В работе исследована возможность обнаружения явления Эль-Ниньо (Ла-Нинья) в Тихом океане по изменениям составляющих радиационного баланса. Проведен анализ пространственно-временных вариаций величин альbedo и потоков поглощённой солнечной радиации для регионов их возникновения. Для этих целей были использованы спутниковые данные от радиометров ИКОР-М. Радиометр ИКОР-М предназначен для измерения потоков отраженной коротковолновой радиации в диапазоне 0,3-4,0 мкм, что позволяет получать значения альbedo и поглощенной солнечной радиации. Этот радиометр проработал на борту «Метеор-М» № 1 в течение пяти лет, вплоть до завершения работы спутника в сентябре 2014 г. Аналогичный прибор установлен на «Метеор-М» № 2, запущенного 8 августа 2014 г [1].

Данные со спутников позволили рассмотреть изменчивость таких составляющих радиационного баланса Земли, как отраженная коротковолновая радиация, альbedo и поглощённая солнечная радиация в Тихом океане во время событий Эль-Ниньо (Ла-Нинья).

Термином Эль-Ниньо называют исключительные явления, охватывающие почти весь тропический Тихий океан. Поверхность океана у побережья Южной Америки, как правило, более холодная, чем в окружающих районах, что связано с Перуанским холодным течением и апвеллингом. В декабре-январе здесь появляется теплое течение, направленное на юг, которое способствует опусканию холодных вод. Это течение не распространяется дальше северного Перу и развивается до марта-апреля. Однако в отдельные годы потепление может быть значительно более интенсивным, сохраняться в течение длительного времени и охватывать почти весь тропический Тихий океан. Вместо ежегодного охлаждения, наступающего в марте-апреле, поверхностные воды продолжают нагреваться на большей части экваториального Тихого океана. Температура поверхности океана может оставаться выше среднеклиматической нормы в течение года и более [2].

Показано, что Эль-Ниньо сопровождается увеличением среднего по региону альbedo до 35-45 %. Отдельно был проведен анализ для стандартных областей Niño 1, 2, 3, 3.4 и 4. Для расчета среднемесячных величин альbedo по этим регионам было осуществлено выделение соответствующих территорий. Имеющиеся данные со спутников позволили рассмотреть и изучить изменчивость значений составляющих радиационного баланса отдельно для каждого региона за период с 2010 по 2016 гг.

Работа выполнена при финансовой поддержке Русского географического общества в рамках научного проекта № 40/2016-Р.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов М.Б., Воробьев В.А., Котума А.И., Червяков М.Ю. Связь шкал измерителей коротковолновой отраженной радиации ИКОР-М ИСЗ «Метеор-М» № 1 и № 2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т 13. № 4. С. 252-260. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-252-260.
2. Гуцина Д.Ю. Модификация Эль-Ниньо в условиях меняющегося климата: причины, мониторинг, удаленный отклик: диссертация ... д.г.н. Москва, 2014.

# МОНИТОРИНГ АЛЬБЕДО НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ РОССИЙСКИХ СПУТНИКОВ СЕРИИ «МЕТЕОР-М»

**Е.В. Шишкина, М.Ю. Червяков, А.А. Спирихина, Я.В. Суркова, Е.В. Кулькова**

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия, kafmeteo@mail.ru*

**Научный руководитель: М.Ю. Червяков, к.г.н.**  
*СГУ им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия*

В работе рассматриваются результаты анализа пространственно-временного распределения величин альbedo, полученных с радиометров ИКОР-М на ИСЗ «Метеор-М» № 1 и № 2. Первый радиометр проработал на борту ИСЗ «Метеор-М» № 1 в течение пяти лет до сентября 2014 г. Результаты работы первого прибора опубликованы [1, 2]. Аналогичный радиометр ИКОР-М установлен на борту ИСЗ «Метеор-М» № 2, запущенного 8 августа 2014 г. Оба измерителя проработали вместе около месяца, что позволило найти связь шкал измерителей на этих спутниках при сравнении карт глобального распределения среднемесячных значений альbedo.

Ежесекундная информация в виде данных измерений потоков отраженной коротковолновой радиации, альbedo и поглощенной солнечной радиации поступает с ноября 2009 г. Разрешающая способность среднемесячных величин отраженной коротковолновой радиации на верхней границе атмосферы составляет  $2,5 \times 2,5^\circ$  дуги большого круга.

Большой интерес представляет мониторинг составляющих радиационного баланса Земли, в частности, альbedo с помощью спутников серии «Метеор-М». Анализ карт среднемесячных распределений величин альbedo на верхней границе атмосферы обнаруживает резкий контраст между значениями альbedo в высоких и средних широтах северного и южного полушарий. К примеру, в тропиках наиболее высокие значения альbedo наблюдаются над пустынями, такими как Сахара и Аравийская (30–40 %). В зонах конвективной облачности над акваториями океанов, например, во внутритропической зоне конвергенции, величины альbedo также велики. Так, в восточной части Тихого океана севернее экватора альbedo 25–35 %. В южном полушарии наблюдается зональный ход распределения альbedo вследствие преобладания здесь океана. Наиболее высокие значения альbedo находятся в полярных широтах северного и южного полушарий, где расположены снежные и ледяные поля. Наибольшие значения альbedo в тропической зоне в летнее время наблюдаются над регионом Юго-Восточной Азии, где они достигают 50 %. Эта область характеризуется постоянством высоких значений альbedo в течение летних месяцев. Данный феномен можно объяснить регулярным действием Азиатского летнего муссона, во время которого развивается мощная кучево-дождевая облачность.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00284 мол\_а.

М.Ю. Червяков также благодарит Русское географическое общество за финансовую поддержку в рамках научного проекта № 40/2016-Р.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Скларов Ю.А. и др. Некоторые результаты обработки данных поглощённой солнечной радиации и альbedo, полученных с помощью аппаратуры ИКОР-М // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2013. Вып. 2. Т. 13. С. 30-33.
2. Скларов Ю.А. и др. Особенности распределения альbedo в 2010 – 2012 годах по данным с ИСЗ «Метеор – М» № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 4. С. 107-117.

# **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ГРУППИРОВКОЙ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

**К.Д. Овчин, С.В. Шиханов**

*Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс»,  
г. Самара, Россия*

Основной целью данного доклада является оценка эффективности орбитальной группировки на базе малых космических аппаратов при решении задач дистанционного зондирования Земли, а также определение возможных направлений развития отечественной орбитальной группировки ДЗЗ.

В последнее время устойчиво и динамично развивается дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). Данные, получаемые с КА ДЗЗ, используются для исследования и рационального использования природных ресурсов; мониторинга и ликвидации последствий природных катастроф и техногенных аварий; метеорологии и климатологии; городского, лесного и сельского хозяйства; картографии; геологии, геофизики, геохимии и океанологии и др.

Оценивая долю отечественного сегмента средств ДЗЗ в космосе на данный момент, можно сказать, что Российская Федерация в некоторой степени отстаёт от ведущих космических держав в части развития данного направления ракетно-космической отрасли. Одним из выходов из данной ситуации является создание и развитие малых космических аппаратов. Данное направление даёт возможность ускоренного наращивания отечественной орбитальной группировки ДЗЗ, находясь в рамках ограниченного финансирования, путём вывода на орбиту вместо одного большого (тяжелого) КА космическую систему (группировку) МКА, предназначенных для решения общей задачи.

При создании орбитальной группировки особый интерес представляет ряд задач, связанных с развёртыванием и поддержанием её баллистической структуры, а также поддержанием рабочей орбиты на протяжении всего срока активного существования МКА (срок баллистического существования).

В рамках данного доклада рассматривается возможность создания орбитальной группировки малых космических аппаратов ДЗЗ с использованием научно-технического задела полученного при разработке конструктивного облика МКА «Аист-2Д».

# ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И РАССМОТРЕНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ЦИКЛОГЕНЕЗОМ И ИНДЕКСОМ ЮЖНОЙ ОСЦИЛЛЯЦИИ

**А.И. Судаков<sup>1,2</sup>, Е.А. Шарков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт, г. Москва, Россия,  
*djoserspyramid@gmail.com*

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

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

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

В данной работе проводится статистический анализ данных о тропических циклонах на основе базы данных «Глобал ТЦ» (ИКИ РАН). В работе используется подход, связанный с применением вейвлет-анализа к временному потоку событий тропических циклонов. Каждое тропическое возмущение представляется как импульс с амплитудой, пропорциональной энергии циклона за отрезок времени, с длительностью, соответствующей времени функционирования тропического циклона, и с соответствующими временем появления. Рассматриваются возможные связи между SOI (параметром, характеризующим ENSO) и численными характеристиками глобального и регионального циклогенеза.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

**К.Р. Назирова**

*Институт космических исследований РАН, Москва, knazirova@cosmos.ru*

**Научный руководитель О.Ю. Лаврова, к.ф.-м.н., доцент**

*Институт космических исследований РАН, Москва*

В докладе представлены результаты подспутниковых экспериментов, проведенных в 2012-2016 гг. на базе Южного отделения Института океанологии РАН. Целью данных исследований являлось изучение прибрежной субмезомасштабной динамики вод в северо-восточной части Черного моря на основе совместного анализа данных спутникового зондирования высокого разрешения (цветосинтезированные изображения MSI Sentinel-2A, OLI Landsat-8 и радиолокационные изображения Sentinel-1A, Radarsat-2, TerraSAR-X) и данных натуральных гидрофизических измерений (CTD+T-зондирования, съемки помощью ADCP).

Исследование субмезомасштабных динамических процессов, в первую очередь вихревых структур, является чрезвычайно важным, так как они оказывают влияние на экосистему прибрежных вод, отвечая за водообмен в шельфовой зоне. Основное внимание уделено возможностям использования различных видов спутниковой информации для мониторинга динамических процессов в прибрежной зоне морей, влияющих на распространение антропогенных загрязнений в прибрежной зоне, таких как: антициклонические и циклонические вихревые структуры, диполи, фронты, внутренние волны. Освящены основные выводы и проблемы, связанные с валидацией космических изображений в оптическом диапазоне с данными натуральных измерений (на примере измерений турбидиметром).

Натурные измерения, анализ и обработка полученных данных выполнялись при поддержке гранта РФФИ № 14-17-00555.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Извекова Ю.Н., Попель С.И.</b> НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНОВЫЕ СТРУКТУРЫ И ПЕРЕНОС ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРАХ ЗЕМЛИ И МАРСА.....	3
<b>ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....</b>	4
<b>Ильясов А.А., Чернышов А.А., Могилевский М.М.</b> НЕОДНОРОДНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ КАК ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИОННО-ЦИКЛОТРОННЫХ ВОЛН.....	5
<b>Козлов Д.А., Чурбанов Д.В.</b> ОБРАБОТКА СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ.....	6
<b>Марусов Н.А.</b> ГРАДИЕНТНО-ДРЕЙФОВАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ДЛИННОВОЛНОВЫХ МОД В НЕОДНОРОДНОЙ ЧАСТИЧНО ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЕ.....	7
<b>Ефимов С.С.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА НА СОЛНЕЧНО-СИНХРОННОЙ ОРБИТЕ.....	8
<b>Тимаров А.Г., Ефремов А.Н.</b> РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УПРАВЛЯЮЩИХ УСИЛИЙ ОТ ГАЗОВЫХ РУЛЕЙ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	9
<b>Быховский Н.Д., Измоденов В.В.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХОЛОДНОГО ПЛОТНОГО МЕЖЗВЕЗДНОГО ОБЛАКА И ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ В МГД-ПРИБЛИЖЕНИИ.....	10
<b>Сазонов Д.С.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ВЗВОЛНОВАННОЙ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ.....	11
<b>Мальшев К.Ю., Михайлов Е.А.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ В ГАЛАКТИЧЕСКОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ.....	12
<b>Красовский В.Л., Киселёв А.А., Долгоносов М.С.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ БЕССТОЛКОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ ПОГЛОЩАЮЩИМ СФЕРИЧЕСКИМ ТЕЛОМ.....	13
<b>Нечунаев А.Ф., Поняев С.А.</b> ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВЫСОКОСКОРОСТНОГО УДАРА ДВУХ УДАРНИКОВ, ЛЕТЯЩИХ СЛЕД В СЛЕД.....	14
<b>Зиняков Т.А., Петросян А.С.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОНАЛЬНЫХ ТЕЧЕНИЙ ДВУМЕРНОЙ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ НА БЕТА-ПЛОСКОСТИ.....	15
<b>Леденцов Л.С., Сомов Б.В.</b> ТЕПЛОВАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ТОКОВОГО СЛОЯ КАК ТРИГГЕР СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК.....	16
<b>Климачков Д.А., Петросян А.С.</b> НЕЛИНЕЙНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛН РОССБИ В МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКЕ В ПРИБЛИЖЕНИИ МЕЛКОЙ ВОДЫ.....	17

<b>Сафонов С.И., Петросян А.С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ В ПРИБЛИЖЕНИИ ХОЛЛОВСКОЙ МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ МЕТОДОМ БЫСТРЫХ ИСКАЖЕНИЙ.....	18
<b>Дунько А.В., Малова Х.В.</b> ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПОГРАНИЧНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЯХ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ.....	19
<b>Малыхин А.Ю., Григоренко Е.Е., Малова Х.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ДИНАМИКЕ ИОНОВ В ЗАМКНУТЫХ МАГНИТОПЛАЗМЕННЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ С ШИРОМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	20
<b>Шленев Д.М., Румянцев Д.А., Ярков А.А.</b> РЕЗОНАНСЫ В КОМПТОНОПОДОБНЫХ ПРОЦЕССАХ РАССЕЯНИЯ ВО ВНЕШНЕЙ ЗАМАГНИЧЕННОЙ СРЕДЕ.....	21
<b>Кислов Р.А., Хабарова О.В., Малова Х.В.</b> МГД-МОДЕЛЬ КОНИЧЕСКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ В ГЕЛИОСФЕРЕ.....	22
<b>Артемьев А.В., Лукин А.С.</b> КОНВЕКЦИОННЫЙ НАГРЕВ ЭЛЕКТРОНОВ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ: РОЛЬ ПОЛЯ $B_y$ .....	23
<b>Колесников Н.П., Безродных С.И., Сомов Б.В.</b> РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЙ ПЛАЗМЫ В ОКРЕСТНОСТИ ПЕРЕСОЕДИНЯЮЩЕГО ТОКОВОГО СЛОЯ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ.....	24
<b>Мищенко А.В.</b> ЗАДАЧА ОБ ОБТЕКАНИИ ЗВЕЗДНЫМ ВЕТРОМ ПЛАНЕТ, НЕ ИМЕЮЩИХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	25
<b>Марусов Н.А.</b> АНАЛИЗ ЛИНЕЙНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В УСТАНОВКЕ СПД-100 НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСИОННОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ГРАДИЕНТНО-ДРЕЙФОВЫХ МОД В НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ.....	26
<b>Сахабутдинов И.Н.</b> РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ СВЯЗАННЫХ ЗАДАЧ ПРИ РАСЧЕТЕ ЭУ.....	27
<b>КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ.....</b>	28
<b>Кузнецов И.А., Захаров А.В., Хесс С.Л.Г., Киприани Ф.</b> ВЗАИМОВЛИЯНИЕ ЛУННОЙ ПЛАЗМЕННО-ПЫЛЕВОЙ ЭКЗОСФЕРЫ С НАУЧНОЙ АППАРАТУРОЙ ПОСАДОЧНОГО АППАРАТА.....	29
<b>Белов Д.А., Душенко Н.В., Маковчук В.Ю., Пузей В.И., Савельев Е.Г.</b> ПРИБОР ТЕРМО-Л, ВХОДЯЩИЙ В СОСТАВ ПОСАДОЧНОГО МОДУЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ МИССИИ «ЛУНА-ГЛОБ».....	30
<b>Моисеенко Д.А., Журавлев Р.Н., Шестаков А.Ю., Шувалов С.Д., Митюрин М.В., Нечушкин И.И., Родькин Е.И.</b> ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРА АРИЕС-Л.....	31
<b>Моисеенко Д.А., Глазкин Д.Н., Маркичев М.И.</b> ПЫЛЕУДАРНЫЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ПРОЕКТА ИНТЕРГЕЛИО-ЗОНД.....	32
<b>Демьянов А.И.</b> ДЕТЕКТОР КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ МЕТЕОР-Л.....	33
<b>Ковылова Е.Г.</b> РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ НАЗЕМНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИБОРА «ГЕЛИКОН-И».....	34



<b>Усс А.Ю.</b> РАЗРАБОТКА ВИХРЕВОГО РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ ГАЗА.....	35
<b>Башкатов А.И., Еремин Е.О.</b> ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ЗВЕЗДНОЙ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА.....	36
<b>Ушков А.Н., Иванов Н.Г., Быков А.В.</b> СОЗДАНИЕ СТЕНДОВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБРАЗЦОВ ЖРД И ИХ АГРЕГАТОВ.....	37
<b>Гречухин И.А.</b> ЛУННЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ДАЛЬНОМЕР ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ГЛОНАСС.....	39
<b>Маковчук В.Ю., Белов Д.А., Савельев Е.Г.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОДАТЧИКОВ НА КОНТРОЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ ИМИТАТОРОВ ЛУННОГО ГРУНТА.....	40
<b>Гарамов В.В., Семенов В.М., Бендеров О.В., Родин А.В., Спиридонов М.В.</b> КОНЦЕПЦИЯ ГЕТЕРОДИННОГО СПЕКТРОМЕТРА СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ В СРЕДНЕМ ИК-ДИАПАЗОНЕ ДЛЯ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТНЫХ АТМОСФЕР.....	41
<b>Дзюбан И.А., Тавров А.В., Шашкова И.А.</b> ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВКИ ЗВЕЗДНОГО КОРОНОГРАФА НА КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП.....	42
<b>Скобленков М.Н.</b> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ КОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «БИОН-М».....	43
<b>Сазонов В.В., Кузьмин В.Ю., Романенко Т.Е., Самыловский И.А., Семёнов А.Н., Макарова Е.Ю., Медведев Д.М., Морозов О.В., Ахмедов М.Р.</b> АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДВУНАПРАВЛЕННОЙ ФУНКЦИИ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ОПТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА.....	44
<b>Сазонов В.В., Кузьмин В.Ю., Романенко Т.Е., Самыловский И.А., Семёнов А.Н., Макарова Е.Ю., Медведев Д.М., Морозов О.В., Ахмедов М.Р.</b> МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ОСВЕЩЕННОСТИ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ОПТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА.....	45
<b>Яковлев Е.К., Рублев В.И.</b> НАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КА ДЗЗ «РЕСУРС-П» И МКА «АИСТ-2Д».....	46
<b>Волков В.В.</b> КАЛИБРОВКА ПОРТАТИВНОГО ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРА ВИДИМОГО И БЛИЖНЕГО ИК-ДИАПАЗОНОВ.....	47
<b>Савкин Л.В.</b> МОДЕЛИ БОРТОВЫХ И НАЗЕМНЫХ НЕЙРОРАДИОЛОКАТОРОВ.....	48
<b>Сербинов Д.В., Семена Н.П., Козлов О.Е.</b> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОПУСТИМОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ТРАНСФОРМИРУЮЩИХСЯ КОНСТРУКЦИЙ НА ЛУНЕ.....	49
<b>Спирин А.Е., Умнов М.Г., Козлова С.В.</b> ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГАЗО- И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СРЕД.....	50

<b>Шатров В.А.</b> ИЗМЕРЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ.....	51
<b>Зеневич С.Г., Климчук А.Ю., Семенов В.М., Чурбанов Д.В.</b> НАЗЕМНЫЙ МОНИТОРИНГ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ МЕТОДОМ ГЕТЕРОДИННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ.....	52
<b>Скворцова А.А., Драцкая А.И.</b> ЛЁГКИЕ КУБИЧЕСКИЕ СИЛОВЫЕ КАРКАСЫ В КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ.....	53
<b>ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ</b> .....	54
<b>Юхина Н.А., Попова Е.П.</b> ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ДИНАМО, ЗАВИСЯЩИХ ОТ ШИРОТЫ, ДЛЯ ОПИСАНИЯ МАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА И ЗВЕЗД В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ.....	55
<b>Худышев Ю.С.</b> О ВОЗМОЖНОЙ ОСОБЕННОСТИ ИСКАЖЕНИЙ СВЕРХКОРОТКОГО РАДИОИМПУЛЬСА НА МЕЖПЛАНЕТНОЙ ТРАССЕ.....	56
<b>Загидуллин А.А., Петрова Н.К., Усанин В.С., Глушков М.В., Нефедьев Ю.А.</b> ФИЗИЧЕСКАЯ ЛИБРАЦИЯ ЛУНЫ – ГЛАВНАЯ ПРОБЛЕМА.....	57
<b>Минаев П.Д., Измоденов В.В., Катушкина О.А.</b> ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ ГРАНИЦЫ ГЕЛИОСФЕРЫ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖЗВЕЗДНОГО ВОДОРОДА ВНУТРИ ГЕЛИОСФЕРЫ.....	58
<b>Попова Е.П.</b> ЭМПИРИЧЕСКАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЕТА И ПРОГНОЗОВ ПОТОКОВ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ.....	59
<b>ФИЗИКА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ</b> .....	60
<b>Шибяев А.И.</b> СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ НОВОЙ И СТАРОЙ ВЕРСИЙ РЯДА ЧИСЕЛ ВОЛЬФА И ДИНАМИКА ДЛИННОПЕРИОДНЫХ КОМПОНЕНТ РЯДОВ.....	61
<b>Осипова А.А., Наговицын Ю.А.</b> ПРАВИЛО ВАЛЬДМАЙЕРА ДЛЯ ДВУХ ПОПУЛЯЦИЙ ПЯТЕН.....	62
<b>Евдокимова М.А., Петрукович А.А.</b> АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ТОКОВ ПО ДАННЫМ МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ЦЕПОЧКИ МАГНИТОМЕТРОВ.....	63
<b>Рахманова Л.С., Рязанцева М.О., Бородкова Н.Л., Сапунова О.В., Застенкер Г.Н.</b> ВЛИЯНИЕ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПЛАЗМЫ МАГНИТОСЛОЯ.....	64
<b>Сергиенко М.В., Соколова М.Г.</b> ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ АСТЕРОИДОВ ГРУППЫ АПОЛЛОНЫ С МАЛЫМИ МЕТЕОРНЫМИ ПОТОКАМИ.....	65
<b>Семенов А.А., Мухаметшин Ч.Р., Шпекин М.И.</b> ЗАДАЧА ПОСТРОЕНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ ИЗБРАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛУННОГО РЕЛЬЕФА.....	66
<b>Сапунова О.В., Бородкова Н.Л., Застенкер Г.Н.</b> ИЗУЧЕНИЕ ФРОНТОВ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ ПРИБОРОМ БМСВ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ.....	67
<b>Виноградов А.А., Васько И.Ю., Юшков Е.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТОКОВЫХ СЛОЕВ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ.....	68

<b>Шувалов С.Д., Знобищев А.С.</b> НАБЛЮДЕНИЕ ПОТОКОВ НАДТЕПЛОВЫХ ИОНОВ ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ ГРАНИЦЫ МАГНИТОСФЕРЫ МАРСА.....	69
<b>Морозова Т.И., Попель С.И.</b> ВОЛНОВЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ У ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ ПРИ ЕЁ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ХВОСТОМ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ.....	70
<b>Балюкин И.И., Измоленов В.В., Катушкина О.А., Алексашов Д.Б.</b> ВТОРИЧНЫЙ МЕЖЗВЕЗДНЫЙ НЕЙТРАЛЬНЫЙ КИСЛОРОД В ГЕЛИОСФЕРЕ: КИНЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМИ КА ИВEX.....	71
<b>Моженков Е.Р., Вайсберг О.Л.</b> ОПИСАНИЕ ТИПА ПЛАЗМЕННОГО ХВОСТА КОМЕТ: ТОНКИЙ ОДНОРОДНЫЙ ХВОСТ НЕИЗМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ.....	72
<b>Кочетов И.А., Попов В.Ю.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКОВОГО СЛОЯ В МАГНИТОСФЕРНОМ ХВОСТЕ ЗЕМЛИ.....	73
<b>Титова М.А., Захаров В.И., Чернышов А.А., Могилевский М.М., Милош В., Jin Ya</b> ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЙ НА СОСТОЯНИЕ ИОНОСФЕРЫ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ.....	74
<b>Царева О.О., Попов В.Ю., Попова Е.П., Малова Х.В., Подзолко М.В., Зеленый Л.М.</b> РАДИАЦИОННАЯ ОПАСНОСТЬ В МОМЕНТ ИНВЕРСИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ.....	75
<b>Zelikson I.S., Pilipenko V.A.</b> ELECTROMAGNETIC ULF WAVE ENERGY LEAKAGE THROUGH THE IONOSPHERE AS OBSERVED BY LOW-ORBITING SATELLITES SWARM.....	76
<b>Рубцов А.В., Климушкин Д.Ю., Магер П.Н., Чуйко Д.А.</b> УЛЬТРАНИЗКОЧАСТОТНЫЕ КОМПРЕССИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В МАГНИТОСФЕРЕ. АНАЛИЗ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ THEMIS.....	77
<b>КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ.....</b>	<b>78</b>
<b>Андрухович И.М., Бородкова Н.Л., Гасенкова И.В., Застенкер Г.Н., Каримов Б.Т., Мухуров Н.И.</b> ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЛЕКТИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДАТЧИКОВ ПОТОКА ИОНОВ.....	79
<b>Лебедева В.О.</b> ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ СКАЛЬПЕЛЬ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ.....	80
<b>Шувалов С.Д., Моисеенко Д.А., Маркичев М.И., Шестаков А.Ю., Журавлёв Р.Н., Ермаков В.Н.</b> ФИЗИЧЕСКИЙ МАКЕТ СПЕКТРОМЕТРА ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ.....	81
<b>Богачев А.М., Пономарев Н.Н.</b> АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОГО ЧАСТОТНОГО СКАНИРОВАНИЯ В РЕЛАКСАЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ.....	82
<b>Кононистов А.В.</b> МЕТОДИКА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ СНЯТИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	83
<b>Спирин А.Е., Кондратенко М.В., Титов К.А.</b> ПОДХОД К АНАТОМИЧЕСКОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ МАНИПУЛЯТОРОВ АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	85

<b>Пронин Т.Ю.</b> ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗБРОСОВ ПАРАМЕТРОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	86
<b>Карсунцева А.А.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ СЕРТИФИКАЦИИ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ.....	87
<b>Насонов К.С.</b> МАЛОРАКУРСНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ ИНДУЦИРОВАННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ БЛИЖНЕГО КОСМОСА.....	88
<b>Жуков А.О., Валяев И.Н., Коваленко В.П.</b> ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ СИГНАЛОВ, СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ИЗМЕРЕННОЙ РАЗНОСТИ ФАЗ ПРИ ФАЗОВОЙ ПЕЛЕНГАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	89
<b>Гамков Д.М.</b> НАСТРОЙКА ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ АСТРОФИЗИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА «ART-XC» ОБСЕРВАТОРИИ «СПЕКТР-РГ».....	91
<b>Якимова Е.И.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ УТЯЖЕЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ В ОКРЕСТНОСТИ МИНИМАЛЬНОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ АРМОСЕТКИ.....	92
<b>Пашинов Е.В., Стерлядкин В.В., Кузьмин А.В., Шарков Е.А.</b> ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ МИКРОВОЛНОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ВОДЯНОГО ПАРА АТМОСФЕРЫ НАД ВЗВОЛНОВОННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ОКЕАНА.....	93
<b>Яркова Е.А., Ярков И.С.</b> ОБЛАСТИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ НА МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ.....	94
<b>Ярков И.С., Яркова Е.А.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛИ ДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.....	95
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ И МАЛЫХ ТЕЛ.....</b>	96
<b>Ефремова Е.В.</b> О СТАТИСТИКЕ ДЕКАМЕТРОВЫХ АСТЕРОИДОВ, СБЛИЖАЮЩИХСЯ С ЗЕМЛЕЙ.....	97
<b>Шапошников Д.С., Родин А.В., Медведев А.С.</b> СРАВНЕНИЕ ГИРОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА В МОДЕЛИ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ МАРСА С ДАННЫМИ SPICAM.....	98
<b>Бецис Д.С., Фёдорова А.А., Монтмессан Ф., Кораблёв О.И., Берто Ж.-Л.</b> ГЛОБАЛЬНАЯ ПЫЛЁВАЯ БУРЯ 28-ГО МАРСИАНСКОГО ГОДА ПО ДАННЫМ СОЛНЕЧНЫХ ЗАТМЕНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТА СПИКАМ-ИК НА КА «МАРС-ЭКСПРЕСС».....	99
<b>Лучников К.А., Манагадзе Г.Г., Сафронова А.А., Воробьева Е.А., Чумиков А.Е., Манагадзе Н.Г.</b> МЕТОДИКА И МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРИЗНАКОВ НАЛИЧИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРОБЕ С ПОМОЩЬЮ ЕЕ ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА.....	100
<b>Евдокимова Д.Г., Федорова А.А., Беляев Д.А.</b> ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАЧНОГО СЛОЯ ВЕНЕРЫ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ НОЧНОГО ОКНА ПРОЗРАЧНОСТИ 1.28 МКМ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ СПИКАВ ИК ЗА 2006-2014 гг.....	101

<b>Попова Е.А., Бобылев В.В., Шевченко И.И.</b> ЦИРКУМБИНАРНЫЕ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ И ОБИТАЕМОСТИ СПЕКТРАЛЬНО-ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД В ОКРЕСТНОСТИ СОЛНЦА.....	103
<b>Гришакина Е.А., Маковчук В.Ю., Д.А. Белов, Е.А. Ивлева, Е.Г. Савельев</b> МОДЕЛИ ЛУННОГО ГРУНТА ДЛЯ ШИРОКОМАСШТАБНЫХ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	104
<b>Кронрод Е.В., Кусков О.Л.</b> РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ЛУНЫ НА ОСНОВАНИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ, СЕЙСМИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ.....	105
<b>Завьялов И.Ю., Козлова Н.А., Коленкина М.М.</b> МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛУННЫХ КРАТЕРОВ С ПОМОЩЬЮ ARCGIS.....	107
<b>Дьячкова М.В.</b> АНАЛИЗ ШЕРОХОВАТОСТИ РЕЛЬЕФА ЛУНЫ ПО ДАННЫМ ЛАЗЕРНОГО АЛЬТИМЕТРА LOLA.....	108
<b>Зайцев М.А.</b> ОБРАЗОВАНИЕ АМИНОКИСЛОТ В АЗОТНО-МЕТАНОВОЙ АТМОСФЕРЕ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ УДАРНЫХ СОБЫТИЯХ.....	109
<b>Щербина М.П., Резаева А.А.</b> КАЧЕСТВЕННАЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕНИЯ АСТЕРОИДОВ ГЛАВНОГО ПОЯСА И АСЗ.....	110
<b>Матвеев Е.В., Жаркова А.Ю., Дубовицкая А.Б.</b> РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА РАБОТЫ ВЕБ-СЕРВИСА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ О ПЛАНЕТНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО И СЕМАНТИЧЕСКОГО КОНТЕКСТА.....	111
<b>Батов А.В.</b> ВЫЯВЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ МАКСИМАЛЬНЫХ СДВИГОВЫХ И РАСТЯГИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В НЕДРАХ МАРСА.....	113
<b>АСТРОФИЗИКА И РАДИОАСТРОНОМИЯ.....</b>	114
<b>Бисноватый-Коган Г.С., Панафидина С.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМОДЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ О РАСПРОСТРАНЕНИИ СИЛЬНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ.....	115
<b>Зазнобин И.А., Буренин Р.А.</b> ИЗМЕРЕНИЕ КРАСНЫХ СМЕЩЕНИЙ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК.....	116
<b>Ляпин А.Р., Буренин Р.А.</b> НОВЫЕ ОЦЕНКИ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ МАСС СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК.....	117
<b>Мереминский И.А., Филиппова Е.В., Сазонов С.Ю.</b> ГЛУБОКИЕ ПОЛЯ В ОБЗОРЕ ART-XC: МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	118
<b>Минаев П.Ю., Позаненко А.С., А.А. Варец</b> ПРОДЛЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SPI-ACS/INTEGRAL.....	119
<b>Мазаева Е., Позаненко А., Минаев П., Вольнова А., Кусакин А., Рева И., Румянцев В., Хафизов Б., Бурхонов О., Инасаридзе Р., Молотов И., Клунко Е., Москвитин А., Фатхуллин Т.</b> КОСМИЧЕСКИЙ ГАММА-ВСПЛЕСК GRB 160625B, ЕГО ПОСЛЕСВЕЧЕНИЕ И РОДИТЕЛЬСКАЯ ГАЛАКТИКА.....	120
<b>Сибатов Р.Т., Васильева П.Г.</b> ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР В МОДЕЛИ НЕЛОКАЛЬНОЙ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ДИФфуЗИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КЛ В ГАЛАКТИКЕ.....	121

<b>Топчиева А.П.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ГАЗА В ЗОНЕ ИОНИЗАЦИИ ДЛЯ ЗВЕЗД О-В КЛАССА.....	122
<b>Михайлов Е.А.</b> ГЕНЕРАЦИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВО ВНЕШНИХ КОЛЬЦАХ ГАЛАКТИК.....	123
<b>Олейник О.С.</b> МИГРАЦИЯ ПЛАНЕТ В АККРЕЦИОННОМ ДИСКЕ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ.....	124
<b>Попков А.В.</b> РАСЧЁТ ЧАСТОТЫ ВСПЫШЕК ОТ СЛИЯНИЙ ЭКЗОПЛАНЕТ СО ЗВЁЗДАМИ.....	125
<b>Маланчев К.Л., Постнов К.А., Шакура Н.И.</b> О КОНВЕКТИВНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ АККРЕЦИОННЫХ ДИСКОВ С МИКРОСКОПИЧЕСКИМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ ПЕРЕНОСА.....	126
<b>Гаджилы О.Э., Лутовинов А.А., Мольков С.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ЛИНИИ ЖЕЛЕЗА В СПЕКТРЕ ИЗЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ПУЛЬСАРА V0332+53.....	127
<b>Петров А.Е., Быков А.М., Осипов С.М.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ПУЛЬСАРНОГО ВЕТРА С МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДОЙ.....	128
<b>Соколова-Лапа Е.А., Постнов К.А., Горностаев М.И.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРА СВЕТИМОСТИ РЕНТГЕНОВСКИХ ПУЛЬСАРОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ АККРЕЦИИ.....	129
<b>Казанцев А.Н.</b> О РЕЗУЛЬТАТАХ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ПОИСКУ ГИГАНТСКИХ ИМПУЛЬСОВ СЕКУНДНЫХ ПУЛЬСАРОВ.....	130
<b>Старовойт Е.Д.</b> ПЛАНЕТА ПУЛЬСАРА PSR B0329+54.....	131
<b>Молярова Т.С., Акимкин В.В.</b> ИНДИКАТОРЫ МАССЫ ПРОТОПЛАНЕТНЫХ ДИСКОВ.....	132
<b>ТЕХНОЛОГИИ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА.....</b>	133
<b>Самофал Е.В., Барталёв С.А.</b> РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	134
<b>Дмитровский А.А., Махатадзе Г.В., Захарова М.А., Слюта Е.Н.</b> ГОРЫ РЮМКЕРА: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВОЗРАСТНОГО КАРТИРОВАНИЯ.....	135
<b>Сазонов В.В., Кузьмин В.Ю., Романенко Т.Е., Самыловский И.А., Семёнов А.Н., Макарова Е.Ю., Медведев Д.М., Морозов О.В.</b> РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОНАВИГАЦИОННОГО ПОЛЯ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС.....	136
<b>Червяков М.Ю., Богданов М.Б.</b> СПУТНИКОВЫЙ РАДИОМЕТР ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ ПОСТОЯННОЙ «ИСП-2М».....	137
<b>Бардаков Н.Н.</b> ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА ИОШКАР-ОЛА ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ.....	138
<b>Константинова А.М., Сычугув И.Г., Балашов И.В.</b> ВОЗМОЖНОСТИ ПОДГОТОВКИ ИНТЕРНЕТ-ПУБЛИКАЦИЙ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕМЕЙСТВЕ «СОЗВЕЗДИЕ-ВЕГА».....	139

<b>Захарова М.А.</b> СОЗДАНИЕ МУЛЬТИМАСШТАБНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ 3D-МОДЕЛИ НА РАЙОН ПРЕДПОЛАГАЕМОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ЛУННОЙ БАЗЫ.....	140
<b>Кашницкий А.В., Бурцев М.А., Кобец Д.А., Матвеев А.М., Балашов И.В.</b> ИНСТРУМЕНТЫ ИНТЕРАКТИВНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ «СОЗВЕЗДИЕ-ВЕГА».....	141
<b>Д.А. Кобец, И.В. Балашов, И.Г. Сычугов, В.А. Толпин</b> ПОСТРОЕНИЕ НА ОСНОВЕ VI-ТЕХНОЛОГИЙ ИНСТРУМЕНТОВ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В СЕРВИСАХ СОЗВЕЗДИЯ ВЕГА.....	142
<b>Стыценко Е.А.</b> ДЕШИФРИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЗОНАЛЬНО-ВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	143
<b>Колбудаев П.А., Барталёв С.А., Матвеев А.М., Плотников Д.Е., Егоров В.А.</b> ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ LANDSAT-TM/ETM+/OLI-TIRS.....	144
<b>Никифорова М.П.</b> ИЗМЕНЕНИЯ КВАЗИГЛОБАЛЬНОГО ОЗОНА В ПЕРИОД 1979-2015 ГГ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ СПУТНИКОВЫХ ПРИБОРОВ.....	145
<b>Спиряхина А.А., Червяков М.Ю.</b> СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТАВЛЯЮЩИХ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ЗЕМЛИ ВО ВРЕМЯ ЯВЛЕНИЙ ЭЛЬ-НИНЬО В ТИХОМ ОКЕАНЕ.....	146
<b>Шишкина Е.В., Червяков М.Ю., Спиряхина А.А., Суркова Я.В., Кулькова Е.В.</b> МОНИТОРИНГ АЛЬБЕДО НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ РОССИЙСКИХ СПУТНИКОВ СЕРИИ «МЕТЕОР-М».....	147
<b>Овчин К.Д., Шиханов С.В.</b> АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ГРУППИРОВКОЙ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	148
<b>Судаков А.И., Шарков Е.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И РАССМОТРЕНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ЦИКЛОГЕНЕЗОМ И ИНДЕКСОМ ЮЖНОЙ ОСЦИЛЛЯЦИИ.....	149
<b>Назирова К.Р.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ.....	150