



ИКИ

# НОЦ

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ИКИ РАН

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ  
И ПРИКЛАДНЫЕ  
КОСМИЧЕСКИЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ

XV КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ  
МОСКВА ИКИ РАН 15 - 17 АПРЕЛЯ 2019

РФФИ  
Грант РФФИ  
19-02-20003

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ



XVI КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ, ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ КОСМОНАВТИКИ  
**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ  
КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**  
Москва 15-17 апреля 2019 г.

**СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ**

Под редакцией  
А.М. Садовского

Проведение Конференции поддержано грантом РФФИ, проект 19-02-2003

Серия «Механика, управление и информатика»



**XVI Конференция молодых ученых,  
посвященная Дню космонавтики**

**«Фундаментальные и прикладные космические исследования»  
ИКИ РАН, Москва, 15-17 апреля 2019 г.**

**Сборник тезисов докладов**

**Под ред. А.М. Садовского**

15-17 апреля 2019 г. в Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) состоялась XVI Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования» (сайт конференции <http://kmi.cosmos.ru>), посвященная Дню космонавтики. Конференция проводилась Научно-образовательным центром ИКИ РАН. В конференции принимали участие студенты, аспиранты и молодые ученые (до 35 лет), чья деятельность связана с космосом и космическими исследованиями. В очередной раз конференция стала самым крупным молодежным форумом, посвященным космической физике. За три дня работы было предоставлено около 150 докладов. «Сборник тезисов Конференции молодых ученых» содержит избранные тезисы, написанные авторами докладов.

Компьютерная верстка: *Кораблева Е.О.*  
Дизайн обложки: *Давыдов В.М., Захаров А.Н.*

Электронная версия сборника размещена на сайтах ИКИ РАН <http://www.iki.rssi.ru/print/htm>

# ВОПРОСЫ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ НА ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЯХ РЕЛЬЕФА

**Д.В. Абрамов**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, Россия, dmbtmv96@mail.ru*

<sup>2</sup>*ООО НПО «Гидротехпроект»*

**Научный руководитель: Георгиевский М. В., к.г.н.**  
*Санкт-Петербургский государственный университет*

Использование данных дистанционного зондирования всё шире проникает в гидрологическое моделирование. Информация о рельефе Земли, полученная в ходе SRTM, позволяет с помощью алгоритмов, апеллирующих к структуре поверхности, получить весьма важные характеристики: уклоны, площади водосборов, экспозиции склонов, речную сеть и прочее. В купе с прогрессом в сфере ГИС спектр получаемой информации ограничивается лишь навыками исполнителя.

К сожалению, не все подходы гидрологического моделирования одинаково хороши для различных регионов, которые отличаются своими географическими особенностями. Так, например, в карстовых регионах, где процесс формирования речного стока сильно обусловлен распределением потоков вод в грунтовых горизонтах, не все гидрологические модели без, порой, избыточного описания грунтового стока, дают удовлетворительные результаты. Несмотря на всю важность задачи, которая восходит к огромному ресурсному потенциалу карстовых водосборов, вопрос ресурсов и их прогнозирования остаётся весьма открытым.

Подход, который прорабатывается в настоящее время авторами для Ижорского плато, активно апеллирует к структурам поверхности рельефа, в частности, наследственным его особенностям, которые образовались в ходе формирования самого географического региона. Не имея возможности проводить многолетние экспедиции, был избран мотив манипуляции со спутниковыми данными. Как было замечено, на весьма плоских рельефах, лесные массивы, которые по площади своего покрытия превышают разрешение растров, выдаются в виде возвышенностей.

Подобная ситуация не позволяет адекватно оценить сформировавшиеся на поверхности ложбинки и каналы, которые являются наследственными структурами.

С помощью алгоритмов машинного обучения и аппарата математической статистики, были выделены лесные регионы, определены их высоты, и построены отредактированные модели рельефа, отражающие более адекватную картину местности.

# ЭВОЛЮЦИЯ ОРБИТ ПЛАНЕТ: ОТ ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ — К БЕЛЫМ КАРЛИКАМ

**А.С. Андрушин, С.Б. Попов**

*Государственный астрономический институт  
им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия,  
andrushin@gmail.com*

**научный руководитель: Попов С.Б., проф., д.ф.-м.н.**

*Государственный астрономический институт  
им. П.К.Штернберга*

В работе представлен анализ эволюции орбит субзвездных объектов с массами в интервале от 0.1 массы Земли до 13 масс Юпитера за счёт эффекта потери массы родительской звездой на стадии красного гиганта (RGB) и асимптотической ветви гигантов (AGB). В приближении постоянной потери массы осуществлен популяционный синтез с целью получения оценки доли поглощенных планет, доли выживших планет и доли планет, покинувших систему, к моменту, когда родительская звезда превращается в белый карлик. Интервал масс звезд на ГП: от 0.9 массы Солнца до 6.3 масс Солнца. Интервалы начальных орбит планет: от 0.04 а.е до 100 а.е. Результаты популяционного синтеза показали, что в приближении постоянного темпа потери массы на стадиях RGB и AGB к моменту достижения звездой стадии белого карлика в системе родительской звезды остаются 62% планет, 38% погибают в расширяющейся оболочке звезды на стадии гиганта. Планируется перейти к более детализированному расчёту эволюции орбит планет на основе расчета меняющихся темпов потери массы звезд по данным эволюционных треков или по эволюционным моделям, построенным в программе MESA.

# ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПРИБОР «КОСМИЧЕСКИЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР С МЕЧЕНЫМИ ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ» (КГС-МЗЧ) ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛУНЫ, МАРСА И ДРУГИХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДАМИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

**А.А. Аникин<sup>1</sup>, И.Г. Митрофанов<sup>1</sup>, Д.В. Головин<sup>1</sup>, А.Б. Санин<sup>1</sup>,  
С.Ю. Никифоров<sup>1</sup>, М.В. Дьячкова<sup>1</sup>, Н.Е. Карпушкина<sup>1</sup>,  
Д.И. Лисов<sup>1</sup>, М.Л. Литвак<sup>1</sup>, М.И. Мокроусов<sup>1</sup>, Г.Н. Тимошенко<sup>2</sup>,  
А.Р. Крылов<sup>2</sup>, В.Н. Швецов<sup>2</sup>, Г.В. Мицин<sup>2</sup>, А.Г. Молоканов<sup>2</sup>**

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

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

<sup>2</sup>Объединенный институт ядерных исследований,  
*г. Дубна, Россия*

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

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН)*

Чувствительность аппаратуры для ядерно-физических исследований вещества небесных тел зависит от отношения «сигнал/фон». Применение даже самых современных средств и методик ядерной физики и технологии для достижения максимально возможной величины измеряемого «сигнала» требует использования детекторов с большой массой и объемом. Во многих случаях это оказывается невозможным вследствие весовых ограничений для бортовой аппаратуры межпланетных исследовательских аппаратов. Поэтому насущной потребностью при создании перспективных ядерно-физических приборов для планетных исследований является максимально возможное снижение сопровождающего измерения «фона».

В известных экспериментах по космической гамма-спектрометрии фоновое излучение от космического аппарата и от удаленных участков поверхности существенно затрудняло поиск и отождествление гамма-линий от исследуемого вещества, понижало статистическую значимость оценок концентрации порообразующих элементов. При проведении гамма-спектрометрического анализа состава планетного вещества с борта космического аппарата на поверхности небесного тела оказывается практически невозможным изучение концентрации тех химических элементов, которые входят в состав конструкции аппарата. Это связано с тем, что аппарат под воздействием космических лучей также является источником вторичного гамма-излучения, и ядерные гамма-линии в спектре этого излучения перекрываются с аналогичными линиями от планетного вещества.

Для уменьшения измеренного «фона» предлагается принципиально новый метод анализа состава вещества небесных тел энергетических спектров собственного гамма-излучения их поверхности с практически полным исключением вклада от космического аппарата. Метод «меченых заряженных частиц» позволяет практически полностью исключить из измеренных спектров гамма-лучей вклад излучения от вещества, расположенного за пределами выделенного объема.

Основная идея эксперимента с прибором КГС-МЗЧ состоит в том, что для каждого фотона, регистрируемого в Детекторе Гамма Лучей (ДГЛ) и Детекторе Заряженных лучей (ДЗЛ), записывать время с точностью до наносекунд. Полученный массив данных

из фотонных слов подвергается математической обработке, в результате которой происходит отождествление фотонов от ДЗЧ с фотонами ДГЛ, что соответствует реакции грунта на галактическое излучение в определенном объеме вещества из фиксированного телесного угла небесной сферы непосредственно под ДГЛ.

Вданном докладе предлагается рассмотреть основы предложенного метода, оценить его эффективность, варианты исполнения и применения его в реальных условиях.

# КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ МАРСА. ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ ГОР НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛАНЕТЫ

**З.М. Архипов**

*МБОУ «Лицей «Технический» имени С.П. Королева», Самара,  
Россия, macarena2000@mail.ru*

**Научный руководитель: Филиппов Ю.П., доцент кафедры  
общей и теоретической физики**

*Самарского национального исследовательского университета  
имени академика С.П. Королева, к.ф.-м.н.*

Одной из самых острых научных проблем XXI века является проблема существования внеземной жизни. Человечество с давних времен искало ответ на вопрос: есть ли жизнь на других планетах Солнечной системы и в окрестности других звезд? Однако и сегодня этот вопрос остается открытым.

Вероятность обнаружить примитивные формы жизни, подобные земной, увеличивается, если небесное тело имеет атмосферу и находится в пределах зоны обитаемости материнской звезды. Помимо Земли лишь Марс пребывает в зоне обитаемости Солнца, и потому космические агентства многих стран имеют программы по изучению Марса. Из-за низкого уровня содержания воды на поверхности Марса, уровень пригодности к жизни здесь является низким. В прошлом жидкая вода была на поверхности планеты, значит, и жизнь могла зародиться здесь. Возможно, сегодня существенная часть запасов марсианской воды сохранилась в коре планеты.

Для того, чтобы найти здесь следы марсианской жизни, нужны точные модели внутреннего строения планеты.

В настоящее время уже предложено множество моделей, но они имеют существенные расхождения, поэтому необходимо в дальнейшем исследовать данную тему.

Поэтому, главной целью настоящей работы является построение простейшей модели внутреннего строения Марса и определение размеров и масс его основных зон. Определение максимально допустимой высоты гор на поверхности планет земной группы. В работе решены задачи.

1. Сформулирована элементарная трехзонная модель внутреннего строения Марса.
2. Определена толщина коры Марса с использованием термодинамических свойств её основных пород.
3. Решена задача об определении размеров и масс внутренних зон Марса.
4. Произведена оценка максимальной высоты гор Марса и других планет земной группы.

Мы использовали уникальную схему поиска основных параметров, характеризующих внутреннее строение планеты. Сформулированная нами модель может быть использована в дальнейшем для определения внутренней структуры планет земной группы

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВОЙСТВА К-ОРТОГОНАЛЬНОСТИ ДЛЯ ОБРАЩЕНИЯ МАТРИЦЫ ПЕРЕХОДА МЕЖДУ СОСТОЯНИЯМИ КА

**А.А. Аскерова**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, iselaskerova@yandex.ru*

**Научный руководитель: Н.И. Сидняев, д.т.н.**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана*

В большинстве современных космических полетов используются маневры в окрестности планет, мимо которых пролетает КА, что дает возможность существенно сократить потребные энергетические затраты за счет использования для маневра поля притяжения планеты и тем самым повысить массу научного оборудования КА. Однако такие миссии достаточно длительные и требуют точного фазирования относительного расположения нескольких планет (по меньшей мере трех планет: старта, назначения и той, в окрестности которой предполагается осуществление маневра). Вследствие этого они могут быть осуществлены только в определенные моменты времен. Цель применения маневра — изменение величины и направления скорости за счет использования потенциальной энергии планеты, вблизи которой совершается полет. Это изменение вызывает требуемый поворот вектора избытка скорости в планетоцентрическом движении при облете планеты и выгодное его суммирование с орбитальной скоростью планеты.

В данной работе определен и проанализирован коридор траектории спутника, удовлетворяющего условиям космического полета аппарата на участке коррекции орбиты. Решение данной баллистической задачи проводится путем математического моделирования реальных процессов, которые происходят при полете КА. Для такого подхода представлено математическое описание баллистических параметров, внешних условий, в которых протекает полет и взаимодействия КА с внешним пространством, а также произведен анализ поставленных требований и определен состав исходных данных.

В настоящей работе уделяется значительное внимание дифференциальным матрицам перехода между состояниями по положению и скорости для спутников, находящихся на эллиптических орбитах, как с целью исследования оптимальных программ управления ускорением при встрече, так и для оценки рассеяния спутников, движущихся по близким эллиптическим орбитам, при наличии градиента сил [1].

Матрица перехода (между состояниями на эллиптической орбите) отличается от более общепринятых тем, что «скоростная» часть вектора состояния не является истинной скоростью, так как она представляет скорость изменения координаты по углу, а не по времени.

Распространяя результаты Бэттина на более общие матрицы, показано, что матрица перехода Чаунера и Гемпела очень сходна с симплектической, и существует обратная матрица. Кроме того, приведен пример матрицы перехода, которая не является симплектической (или канонической), а является ортогональной.

Получены графические и числовые результаты варьирования возмущающих параметров, влияющие на конечные параметры орбиты и положение КА. Получена матрица корреляции, содержащая информацию о точностных характеристиках выведения.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Сидняев Н.И. Обтекание гиперзвуковых летательных аппаратов в условиях поверхностного разрушения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. 304 с.

# РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПОТОКОВОЙ ПЕРВИЧНОЙ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОЙ ФОТОСЪЁМКИ

**Н. Багдатова**

*Московский Государственный Университет  
им. М.В. Ломоносова, факультет космических исследований,  
Москва, Россия, naziko\_-kz@list.ru*

**Научный руководитель: Бурцев М.А., к. т. н.**

*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН),  
отдел «Технологии спутникового мониторинга»*

В данной работе рассматривается разработка программного модуля потоковой первичной привязки данных космической фотосъёмки. По имеющимся наборам снимков, сделанными космонавтами с международной космической станции (МКС), параметрам камеры, и некоторым географическим данным (время и дата съёмки, ширина, долгота и азимут), необходимо получить изображения с метаданными, связав всю имеющуюся информацию воедино.

Для этого используется модуль инструмента SagaGIS под названием Direct Georeferencing of Airborne Photographs. В основе работы этого модуля лежит метод, который привязывает центр изображения к исходным координатам широты и долготы, преобразовывает изображение согласно значению азимута, и привязывает пикселям на изображении физические координаты, используя высоту съёмки как параметр масштабирования.

Затем, так как инструмент SagaGis предоставляет пользователю не только GUI интерфейс, но и работу через командную строку, для данного процесса используется скрипт, написанный на языке Python, при помощи которого привязка изображения и метаданных осуществляется в потоке сразу для всего набора данных.

# АНАЛИЗ ДАННЫХ SWAN/SOHO ПО ИЗМЕРЕНИЮ СОЛНЕЧНОГО ЛАЙМАН-А ИЗЛУЧЕНИЯ: ВОДОРОДНАЯ ГЕОКОРОНА ПРОСТИРАЕТСЯ ДАЛЕКО ЗА ПРЕДЕЛЫ ЛУНЫ

**И.И. Балиюкин<sup>1,2</sup>, J.-L. Bertaux<sup>1,3</sup>, E. Quemerais<sup>3</sup>, В.В. Измоленов<sup>1,2,4</sup>,  
W. Schmidt<sup>5</sup>**

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

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

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

<sup>4</sup>Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского РАН,  
Москва, Россия

<sup>5</sup>Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland

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

Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова

В январе 1996, 1997 и 1998 гг. (период низкой солнечной активности) было измерено рассеянное солнечное Лайман- $\alpha$  излучение от водородной экзосферы (геокороны) Земли при помощи прибора SWAN на борту КА SOHO с расстояния  $\sim 1.5$  миллиона километров ( $L_1$ ). Использование водородной поглощающей ячейки на световом пути позволило отделить межпланетное излучение от экзосферного. Было обнаружено, что геокорона простирается, по меньшей мере, до 100 радиусов Земли ( $R_E$ ) с интенсивностью  $\sim 5$  Рэлей, что значительно превышает недавние оценки, полученные прибором LAICA ( $\sim 50 R_E$ ), и охватывает орбиту Луны ( $\sim 60 R_E$ ).

Была разработана численная модель распределения атомов водорода в экзосфере, основанная на кинетическом подходе, которая учитывает силу радиационного отталкивания и ионизацию (перезарядку атомов на протонах солнечного ветра и фотоионизацию). Радиационное давление сжимает экзосферу на дневной стороне, увеличивая концентрацию водорода в области от 3 до 20  $R_E$  (примерно в 2.5 на расстоянии 7  $R_E$  по сравнению с классической одномерной моделью Чемберлена). Результаты моделирования экзосферного излучения очень хорошо воспроизводят данные наблюдений интенсивности SWAN/SOHO. Проводится сравнение данных SWAN с измерениями LAICA (2015) и OGO-5 (1968), выполненными в период солнечного максимума. Интегрированные вдоль луча зрения концентрации на расстоянии 7  $R_E$  по данным SWAN выше (в 1.1 - 2.5 раз) чем концентрации, полученные по данным LAICA и OGO-5. В то же время в период максимума солнечной активности следует ожидать более сильное влияние радиационного отталкивания, и, соответственно, более высокую концентрацию. Обсуждается возможная роль атомов водорода, находящихся на спутниковых орбитах, чтобы объяснить это кажущееся противоречие.

Для восстановления концентрации атомов водорода в экзосфере для трех наблюдений SWAN была использована техника «onion-peeling». На больших гелиоцентрических расстояниях замечена повышенная концентрация по сравнению с численными моделями, что, вероятно, связано с присутствием атомов нетепловой природы, которые не учитывались при моделировании. Кратко обсуждается взаимодействие Луны с водородной экзосферой Земли.

# НАБЛЮДЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГАММА-ВСПЛЕСКА 181201А

**С.О. Белкин<sup>1,2</sup>, С.А.Позаненко<sup>1</sup>**

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

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

*<sup>2</sup>Московский физико-технический институт, Москва, Россия*

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

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН)*

Гамма-всплески являются одними из самых энергетически мощных явлений во Вселенной, природа которых, несмотря на их активное изучение на протяжении уже практически полувека, всё ещё до конца не выяснена. Одним из таких явлений является всплеск 181201А, наблюдаемый 01 декабря 2018 года. В результате наблюдения его и обработки данных в оптическом диапазоне была получена кривая блеска, которая даёт нам значения абсолютной звездной величины в максимуме и времени этого самого максимума с начала всплеска. Эти величины, в свою очередь, в сравнении с уже имеющимися данными по сверхновым, приводят нас к результату, что данное явление является еще одним случаем подтверждения наличия сверхновых в близких всплесках.

# МЕТЕОРНАЯ ЭРОЗИЯ И ЛОКАЛЬНЫЕ РАЗРУШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА (КА)

**Э.В. Белкина**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, eleanorbelkin@gmail.com*

**Научный руководитель: Сидняев Н.И., д.т.н.**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Настоящая работа посвящена проблеме расчета разрушительного действия метеорных тел, которая указывает на актуальность проводимых авторами исследований, а целью настоящих исследований является защита космических аппаратов (КА) от внешнего воздействия среды [1].

В статье приведены результаты исследований высокоскоростного ударного взаимодействия потока частиц метеорного фона космического пространства со спутниками. Показана важность использования материалов с повышенным сопротивлением отрыву. Обоснованы прочностные параметры обшивки КА, способные выдерживать условия космической среды. Определены вероятности попадания в КА метеорных частиц для выявления срока безопасного функционирования. Описаны эффекты, возникающие при движении микрочастиц в материале, приведены модели взаимодействия твердой частицы с защитой КА [2]. Представлены экспериментальные и аналитические зависимости. Выявлены основные факторы, приводящие к разрушению конструкции несущих поверхностей, и выполнена оценка их влияния на износ поверхности спутников. Для оценки трещиностойкости сверхпрочных материалов для КА использована линейная механика разрушения в широком интервале температур.

В результате исследований оценена опасность столкновения с метеорными телами КА на орбите. Исследована метеорная эрозия и местные разрушения (образования трещин, пробоин) конструкции. Предложены высокопрочные материалы, обладающие большой сопротивляемостью отрыву, применение защитных экранов и многослойных силовых конструкций. Применение материалов с повышенным сопротивлением отрыву наиболее эффективно для защиты от потока микрометеоритов, обуславливающих трещинообразование с внешней поверхности оболочки КА. Трещинообразование обычно сопровождается возникновением волн сжатия в оболочке. Последнее, в свою очередь, приводит к отколу материала внутренней поверхности обшивки. При нестационарном воздействии ударной нагрузки наблюдается интенсификация изнашивания в отдельных местах поверхности КА, вследствие чего на конструктивных элементах формируется характерный рельеф с локальными впадинами и нередко сквозными отверстиями. Наиболее чувствительны к влиянию температуры свойства, характеризующие сопротивление пластической деформации (твердость, пределы прочности и текучести), а также ударная вязкость. Температурные зависимости механических свойств для титана и вольфрама достаточно близки [3]. Их упругие свойства изменяются с температурой в меньшей степени. При высоких температурах наибольшее постоянное напряжение вызывает остаточную деформацию, не превышающую заданного значения (как правило, 0,2 %). Характеристики выносливости зависят от формы и размера несущей поверхности КА. С понижением частоты орбитального нагружения и увеличением абсолютных размеров КА сопротивление усталости падает.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сидняев Н.И. Обтекание гиперзвуковых летательных аппаратов в условиях поверхностного разрушения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. 304 с.
2. Сидняев Н.И. Исследование разрушения поверхности КА при контактном взаимодействии с микрочастицами космической среды/Космические исследования. 2018. Том №56, №3, С. 233–242.
3. Сидняев Н.И., Белкина Э.В. Исследование трещиностойкости несущих поверхностей космического аппарата/ Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. №10. <http://engjournal.ru/cata.../arse/dcpa/1814.html>; DOI: 10.18698/2308-6033-2018-10-1814

# ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ ЖЁСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО НАБЛЮДЕНИЯМ RHessi И MARS ODYSSEY/HEND

**Е.И. Белозеров**

*Факультет Физики НИУ ВШЭ, Москва, Россия, eugene@phystech.edu*

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

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН)*

В солнечных вспышках происходит ускорение электронов до релятивистских скоростей. Взаимодействуя с окружающей плазмой, эти электроны генерируют тормозное жёсткое рентгеновское (ЖР) излучение. Физические характеристики этого излучения позволяют определить параметры популяций ускоренных электронов и, как следствие, рассуждать о механизмах ускорения и распространения электронов во вспышечных областях на Солнце.

Информацию о pitch-угловом распределении электронов можно получить на основе анализа анизотропии ЖР излучения, оцениваемой посредством одновременных наблюдений с разных гелиографических направлений.

Преыдушие экспериментальные исследования, выполненные более 20 лет назад, показали, что уровень анизотропии ЖР излучения вспышек не превышает 3. В настоящее время имеется возможность проверить эти выводы на основе новых данных, полученных с помощью космических инструментов RHessi и MARS ODYSSEY/HEND.

В данном докладе представлены предварительные результаты исследования анизотропии ЖР излучения нескольких вспышек по данным этих инструментов, находящихся на различных гелиографических долготах.

Для обработки данных HEND было разработано программное обеспечение на языке Python. Анализ данных RHessi производился стандартными средствами в составе SolarSoftWare (пакеты "hessi", "ospex").

Обработка данных состояла в определении и вычитании фона полиномами различной степени, построении дифференциальных энергетических спектров ЖР излучения в различные моменты вспышки и их аппроксимации степенными функциями. В результате, определены показатели спектра и рассчитаны интенсивности ЖР излучения в различных диапазонах энергий. Произведено сравнение этих характеристик по данным RHessi и HEND. Сделаны предварительные выводы о степени анизотропии ЖР излучения в исследованных вспышках.

# ПРЯМЫЕ URCA-ПРОЦЕССЫ В КВАРКОВОМ ЯДРЕ МАССИВНОЙ НЕЙТРОННОЙ ЗВЕЗДЫ С СИЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

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

*<sup>1</sup>Ярославское Высшее Военное Училище Противовоздушной  
Обороны, Россия, SCstalk@mail.ru*

*<sup>2</sup>Ярославский государственный университет  
имени П.Г. Демидова, Россия, gvozdev@uniyar.ac.ru*

**Научный руководитель: Гвоздев А.А., д.ф.м.н.**  
*Ярославский государственный университет  
имени П.Г. Демидова, кафедра теоретической физики*

В докладе обсуждается оценка нейтринной светимости прямых URCA-процессов в сверхплотной сильно замагниченной кварковой среде с учётом эффективной массы кварков. В аналитических вычислениях нейтринной светимости используется ковариантная техника матрицы плотности заряженного фермиона в постоянном однородном магнитном поле.

Рассматривается асимптотика напряжённости магнитного поля, в которой  $u$ -,  $d$ -кварки заполняют много уровней Ландау, а электроны — лишь основной уровень. В данной асимптотике получена аналитическая зависимость нейтринных светимостей от напряжённости магнитного поля, химических потенциалов кварков и электронов, и температуры. Рассматривается отношение светимости в сильном магнитном поле к известному результату для светимости в отсутствии магнитного поля. Обсуждается возможное приложение полученного результата к сильно замагниченной массивной нейтронной звезде.

# ОПЫТ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ТРОСТНИКОВЫХ ПОЖАРОВ НА НИЖНЕЙ ВОЛГЕ

**А.Н. Берденгалиева<sup>1</sup>, С.С. Шинкаренко<sup>1,2</sup>, Ю.А. Уныченко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Волгоградский государственный университет, Россия, gik@volsu.ru*

<sup>2</sup>*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Россия*

Интразональные ландшафты речных пойм в субаридном и субгумидном поясе Европейской части России являются настоящими оазисами, привлекающими множество животных и являющихся местом произрастания большого разнообразия растений. Не случайно в Волго-Ахтубинской пойме и дельте Волги функционируют три природных парка, заказник и биосферный заповедник. Одним из основных негативных факторов, воздействующих на компоненты ландшафтов пойм, являются природные пожары. В настоящее время в Северном Прикаспии областью наибольшей частоты пожаров является дельта Волги и Волго-Ахтубинская пойма (ВАП). Здесь преобладают тростниковые палы. Тростник на месте пожаров восстанавливается в течение вегетационного сезона и следующей весной на тех же местах могут возникать новые пожары. Природные пожары в аридных речных поймах, к которым можно отнести Волго-Ахтубинскую, слабо изучены, в то время как лесным и степным пожарам посвящено много работ.

На основе дешифрирования снимков Sentinel-2 и Landsat 5, 7, 8 с верификацией по данным продукта тепловых аномалий FIRMS определены площади природных пожаров в пойме. Например, в 2017 году в северной части ВАП зафиксировано 413 гарей площадью от 0,4 до 1116 га. Средняя площадь гарей составила 54,9 га. Преобладали пожары площадью от 10 до 25 га (94 случая) и от 1 до 6 га (97 случаев). Также отмечено 86 пожаров площадью от 25 до 60 га и 83 пожара более 60 га. Гарей менее 1 га зафиксировано всего 8. Это связано, как и с особенностями территории, где сгорают большие площади, так и со сложностью определения гарей небольших площадей, в том числе алгоритмом FIRMS.

Кроме северной части ВАП были картографированы гари в радиусе 20 километров от границ Астраханского биосферного заповедника в дельте Волги, что позволило определить повторяемость пожаров и выделить наиболее пожароопасные участки. Самые масштабные пожары зафиксированы в 2011, 2014 и 2015 гг., в каждый из которых огнем было пройдено свыше 10 тыс. га ландшафтов дельты, в том числе и на территории заповедника. Анализ повторяемости пожаров в окрестностях Астраханского заповедника показывает, что половина всех пожаров затронула территорию единожды, на четверти площади случилось два пожара, трижды пожары за годы исследований прошли 10% территории. Из-за ландшафтных особенностей дельты и ВАП здесь возможны ежегодные пожары на одних и тех же участках. Так 6% всех зафиксированных гарей наблюдались в одних и тех же местах 4-7 лет подряд.

Полученные результаты и картографические слои локальной ГИС могут использоваться администрациями ООПТ Нижней Волги при разработке и оптимизации противопожарных мероприятий, для мониторинговых исследований растительных смен после пожаров и других природоохранных и научных работ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 18-45-343002 «Анализ геоэкологических последствий степных пожаров в Волгоградской области»

# ГЛОБАЛЬНЫЕ ПЫЛЕВЫЕ БУРИ НА МАРСЕ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЕЧНЫХ ЗАТМЕНИЙ ПРИБОРОМ SPICAM IR: 28 И 34 МАРСИАНСКИЕ ГОДЫ

**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), Москва, Россия,  
dasha-integral@yandex.ru

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

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

ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН)

Глобальные пылевые бури на Марсе – довольно редкие явления, представляющие большой интерес. Они происходят в период прохождения Марсом перигелия, раз в несколько марсианских лет. Возникающая положительная обратная связь между горизонтальным переносом (адвекцией) пыли, поглощающей солнечное излучение, и интенсивностью циркуляции ячейки Хэдли проявляется в резком возрастании концентрации пыли в атмосфере, увеличении температуры кроссэкваториальных потоков воздушных масс. В 28 марсианском году (28 МУ) сила и масштаб подобного явления достигли такой степени, что планета почти целиком покрывалась пылевыми облаками. После этого в течение довольно длительного периода на Марсе не происходило таких глобальных явлений. И вот летом 2018 года (34 МУ) оно снова случилось. 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  $L_s = 302$  28-го марсианского года 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 регистрировалась 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 наблюдательного 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  $L_s = 295^\circ\text{--}302^\circ$ ). Концентрация аэрозоля для разных вариантов решения обратной задачи изменялась от 0.01 до 15 частиц на  $\text{см}^3$ . Также проведено изучение зависимости вариации распределения от высоты в разных точках и изменение этой зависимости в разные периоды пылевой бури. В 34-м марсианском году наблюдения солнечных затмений прибором SPICAM IR проводились в высоких широтах обоих полушарий в период глобальной пылевой бури, из-за орбиты КА. Тем не менее, можно провести сравнение данных о распределении аэрозольных частиц в процессе эволюции этого явления.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИМИ ПЕРЕГРУЗКАМИ

**А.М. Богачев<sup>1</sup>, Т.Ю. Пронин<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, Россия, bogachev-al2012@yandex.ru, pronin\_t\_y@list.ru

<sup>2</sup>АО «Концерн Автоматика», Москва, Россия

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

ФГБОУ ВО Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, v\_p\_krylov@vlsu.ru

Термин «потенциальный дефект» в работах по обеспечению надежности полупроводниковых приборов обозначает нежелательные дефекты полупроводниковых материалов, не предусмотренные проектом «инженерного дефектообразования». Нормальное функционирование полупроводниковых приборов и микросхем основано на нерегулярности структуры полупроводникового материала ( $p$ -области и  $n$ -области), что уже является дефектом с точки зрения физики твердого тела. В этом смысле бездефектные полупроводниковые приборы просто неинтересны для практики, поэтому появилась потребность как-то выделить посторонние дефекты различной природы, появление которых нежелательно и потенциально может привести к отказу изделия.

Эффективным средством регистрации сверхмалых концентраций потенциальных дефектов является релаксационная спектроскопия глубоких уровней (РСГУ), которая интерпретирует потенциальный дефект в виде энергетического уровня в запрещенной зоне (ЗЗ) полупроводника, отстоящего от границ ЗЗ на расстояние более 0,1 эВ. В отличие от глубоких уровней (ГУ) основные примеси  $p$ - и  $n$ -типа характеризуются энергетическими уровнями в пределах 0,1 эВ от границ ЗЗ.

В докладе приведены результаты экспериментальных исследований серийных кремниевых планарно-эпитаксиальных диодов КД-521А с базой  $n$ -типа методами РСГУ до и после механических знакопеременных нагрузок (вибрации). Известно, что электронная аппаратура космических аппаратов (КА), особенно беспилотных, при выводе КА на орбиту подвергается вибрационным нагрузкам в виде шумоподобной случайной вибрации (ШСВ).

Для повышения быстродействия в полупроводниковых структурах этих диодов дополнительно в процессе изготовления формируются ГУ ближе к середине ЗЗ с помощью диффузионного введения относительно небольших количеств атомов золота – примерно 1 атом золота на 106 атомов основной примеси, определяющей тип проводимости. В режиме частотного сканирования при температуре -10 и частотах следования импульсов заполнения от 2500 Гц до 0,25 Гц наблюдается характерный пик сигнала релаксации емкости запертого  $p$ - $n$ -перехода, соответствующий ГУ золота в кремнии. В партии диодов наблюдается заметный разброс характеристик ГУ из-за проблем контроля диффузии золота.

Данный режим сканирования использован в экспериментальных исследованиях указанных диодов до и после вибрационных нагрузок

различного вида – синусоидальных и ШСВ. Для исследований изготовлены 2 печатных платы с 5-ю диодами на каждой плате. Платы отличаются размерами и способом крепления на оснастке вибростенда, а также координатами монтажа диодов. Измерения проводились до вибрационных воздействий, после синусоидальных воздействий с перегрузками до 150 г на резонансной частоте и после ШСВ с параметрами, характерными для современных космических аппаратов. Появление потенциальных дефектов зарегистрировано на 2 образцах из 10-ти только после ШСВ в виде существенного изменения формы частотного скана, что позволяет выдвинуть предположение о появлении новых дефектов, обусловленных механическими перегрузками.

# РАЗРАБОТКА БЛОКА АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ДАННЫХ СПУТНИКОВ SENTINEL-2 В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ «VEGASCIENCE»

**Л.А. Бочка**

*Московский Государственный Университет  
им. М.В. Ломоносова, факультет Космических Исследований,  
Москва, Россия, persifik@mail.ru*

**Научный руководитель: Кашницкий А.В., к.т.н**

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

В 2015 году Европейским космическим агентством (ЕКА) в рамках программы Copernicus были запущены спутники серии Sentinel-2. Данные высокого разрешения (до 10 м) этих спутников в видимом и инфракрасном диапазоне распространяются в открытом доступе для любого исследователя (<https://scihub.copernicus.eu/>). На территорию Российской Федерации на текущий момент данные предоставляются без проведенной атмосферной коррекции. В центре коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ Мониторинг» (Лупян и др., 2015) реализована технология их автоматического ежедневного получения и обработки. Однако, на данный момент в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» используются данные уровня L1C, без проведенной атмосферной коррекции. При этом ЕКА предоставляет в открытом доступе программное обеспечение для проведения их атмосферной коррекции и для получения продуктов уровня L2A. Настоящий доклад посвящен организации проведения атмосферной коррекции получаемых от ЕКА данных в сервисе «VEGA-Science». Рассказывается об особенностях обработки данных и анализе полученных результатов.

## **ЛИТЕРАТУРА:**

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

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

# ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОЦЕНОК ВЫСОТ ПЕПЛОВЫХ ШЛЕЙФОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

**А.А. Бриль, А.В. Кашницкий, А.М. Константинова**  
*ФГБУН Институт комических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
bril@d902.iki.rssi.ru*

Одними из опаснейших природных явлений являются эксплозивные извержения вулканов. Ежегодно, по данным вулканологов, только на территории Камчатки и Северных Курил от трех до восьми вулканов находятся в состоянии извержения или активизации.[1] Продукт эксплозивных извержений, вулканический пепел, представляет большую опасность, как для окружающей среды, так и для многих сфер деятельности человека, особенно для авиации. Облака вулканического пепла, выброшенного в атмосферу на высоту до 8-15 км над уровнем моря, могут распространяться на огромные расстояния от самого центра извержения, сильно влияя на безопасность полетов в зоне распространения пепла. Поэтому задачи комплексного анализа эксплозивных событий являются одними из важнейших задач мониторинга вулканов. В том числе для решения подобного рода задач была создана и эксплуатируется информационная система (ИС) «VolSatView».[2]

Одним из основных параметров, необходимых для анализа облаков вулканического пепла, является высота, на которую он был выброшен в атмосферу и на которой распространяется. Настоящий доклад посвящен проблеме получения оценок высот вулканических облаков на основе данных различных спутниковых систем. На данный момент существует множество способов получения такой оценки. В докладе кратко рассмотрены основные из этих способов, описаны их основные преимущества и недостатки. Также рассказано о реализованных в ИС методах нахождения высоты верхней границы облака вулканического пепла и приведен анализ их точности.

Работа выполнена в рамках темы «Мониторинг» (№ 01.20.0.2.00164). Для проведения разработки использовались возможности Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (<http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=357>).

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Мельников Д.В., Романова И.М., Кашницкий А.В., Уваров И.А., Мальковский С.И., Королев С.П., Маневич А.Г., Крамарева Л.С., Комплексный мониторинг эксплозивных извержений вулканов Камчатки, 2018 ИВиС ДВО РАН. 192 с.
2. Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Крамарева Л.С., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Уваров И.А., Бурцев М.А., Романова И.М., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Королев С.П., Верхотуров А.Л., Информационная система VOLSATVIEW для решения задач мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил // Вулканология и сейсмология., 2016. № 6. С. 1-16. DOI: 10.7868/S0203030616060043.

*Ключевые слова:* дистанционное зондирование, спутниковые данные, информационная система, «VolSatView», эксплозивные извержения, вулканы, пепел, пепловый шлейф, высота облака, мониторинг активности вулканов

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ КАНДИДАТА В ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ GRS 1739-278

**С.Д. Быков<sup>1,2</sup>, Е.В. Филиппова<sup>1</sup>, А.Н. Семена<sup>1</sup>,  
И.А. Мереминский<sup>1</sup>, А.А. Лутовинов<sup>1,2</sup>**

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

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

*<sup>2</sup>Высшая школа экономики (НИУ ВШЭ), Москва, Россия,  
sdbykov@edu.hse.ru*

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

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН)*

В работе был проведен совместный спектральный и временной анализ вспышки системы GRS 1739-278 в 2014 году по данным обсерваторий Swift и ИНТГЕРАЛ. Показано, что во время этой вспышки система продемонстрировала оба промежуточных спектральных состояния: жесткое и мягкое. От системы зарегистрированы квазипериодические осцилляции в диапазоне частот 0.1-5 Гц, которые классифицированы как КПО типа С. С помощью данных телескопа Swift/BAT показано, что после вспышки 2014 года система перешла в режим вспышечной активности: помимо упомянутых в литературе трех мини-вспышек в работе было обнаружено еще 4 вспышки со сравнимым (~20 мКраб) потоком в жестком диапазоне энергий (15-50 кэВ). Проведено сравнение всех вспышек источника. Получена зависимость максимума излучения во время вспышки в низком/жестком состоянии от временного интервала между вспышками (для вспышек, во время которых система переходила в высокое/мягкое состояние).

# ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО АЛЬБЕДО ОБЛАКОВ ВЕНЕРЫ ПО ДАННЫМ СПЕКТРОМЕТРА VIRTIS МИССИИ VENUS EXPRESS

**П.В. Власов<sup>1</sup>, Д.А. Беляев<sup>1</sup>, Н.И. Игнатьев<sup>1</sup>, Ж.-Л. Берто<sup>1,2</sup>,  
Л. Баджио<sup>2</sup>, Дж. Пиччони<sup>3</sup>, Э. Д'Аверса<sup>3</sup>**

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

*<sup>2</sup>Лаборатория LATMOS-CNRS, Франция*

*<sup>3</sup>INAF-IAPS, Италия*

**Научный руководитель: Игнатьев Н.И., с.н.с., к.ф.-м.н.**  
*ФГБУН Институт космических исследований Российской  
академии наук (ИКИ РАН)*

В видимом диапазоне спектра Венера представляет собой яркий однородный диск из-за сильного отражения и рассеяния солнечного света облаками, полностью покрывающими планету. В ультрафиолетовом диапазоне планета выглядит контрастно, с характерными тёмными областями, которые указывают на присутствие в облаках веществ, сильно поглощающих солнечный свет в спектральном интервале 200-400 нм. Одной из таких компонент является двуокись серы SO<sub>2</sub>, играющая ключевую роль в фотохимии облачного слоя. Другое вещество, обильно поглощающее в районе 300-400 нм, до сих пор однозначно не установлено: это могут быть как серосодержащие молекулы, так и малая примесь хлорида железа FeCl<sub>3</sub>. Для поиска неизвестного УФ-поглотителя долгое время не хватало измеренных спектров альбедо в диапазоне от 200 до 400 нм.

В данной работе проводится новый анализ данных, полученных приборами SPICAV-UV (110-320 нм) и VIRTIS-M (300-1000 нм) на борту европейского орбитального аппарата Venus Express, непрерывно измерявшего альбедо облаков Венеры в 2006-2015 годах. Было отобрано несколько сеансов одновременных наблюдений с двух спектрометров с целью объединения спектров альбедо SPICAV и VIRTIS и получения полосы поглощения неизвестных УФ-поглотителей в диапазоне 200-400 нм, однако для их точного совмещения необходимы абсолютные фотометрические калибровки обоих приборов.

На данный момент только данные SPICAV полностью откалиброваны. В данной работе была проведена калибровка спектров VIRTIS для нескольких сеансов измерений. Сначала, после предварительной очистки от влияния рассеянного света, спектры излучения, полученные VIRTIS, были подвержены корректировке длины волны по всему интервалу измерения. Затем была выполнена процедура вычисления альбедо с учётом непостоянного разрешения прибора по спектральному интервалу. Наконец, полученное альбедо было подвергнуто сглаживанию для избавления от остаточных эффектов. Предполагается окончательная калибровка спектров VIRTIS со всех сеансов одновременных измерений и объединение с данными SPICAV.

Таким образом, получение альбедо в диапазоне 200-400 нм путём объединения откалиброванных данных SPICAV-UV и VIRTIS-M позволит исследовать полосу поглощения, определить в дальнейшем молекулы неизвестных УФ-поглотителей и восстановить их процентное содержание в облаках Венеры.

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ АТМОСФЕРЫ МАРСА МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ПО ДАННЫМ ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРА ACS TIRVIM МИССИИ EXOMARS

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

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

*<sup>2</sup>INAF-IAPS, Италия*

**Научный руководитель: Игнатьев Н.И., с.н.с., к.ф.-м.н.**  
*ФГБУН Институт космических исследований Российской  
академии наук (ИКИ РАН)*

В марте 2016-го года стартовала миссия Экзомарс-2016 с целью всестороннего изучения Марса. На борту орбитального аппарата TGO (Trace Gas Orbiter) в числе прочих установлен российский приборный комплекс ACS (Atmospheric Chemistry Suite) с 3 спектрометрами ИК-диапазона NIR, MIR и TIRVIM, непрерывно передающими данные с весны 2018-го года. Фурье-спектрометр TIRVIM предназначен для исследования тепловой структуры атмосферы и вертикального распределения аэрозолей в надирном и затменном режимах в спектральном диапазоне 1.7-17 мкм, а также поиска малых газовых составляющих. По полученным с TIRVIM данным проводится самосогласованное восстановление вертикальных температурных и аэрозольных профилей. Восстановление профилей производится путём решения обратной задачи и реализуется двумя способами: при помощи итерационной процедуры релаксации и методом статистической регуляризации.

Метод статистической регуляризации использует байесовский подход и основан на расчёте как синтетического спектра излучения, так и его функциональных производных по произвольным параметрам, одними из которых являются температурный и аэрозольные профили. Задача заключается в минимизации разницы между моделируемым спектром при варьирующихся параметрах и измеренным спектром с использованием критерия  $\chi^2$ .

Таким образом, метод статистической регуляризации позволяет восстанавливать температурный и аэрозольный профили в атмосфере Марса по свежим данным спектрометра TIRVIM миссии Экзомарс-2016 и строить температурные поля для дальнейшего изучения их суточной динамики и сравнения результатов с климатическими моделями.

# ЛОКАЛЬНАЯ ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СОЛНЕЧНУЮ КОРОНУ ИЗ ФОТОСФЕРЫ В БЕССИЛОВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ МАГНИТОФРИКЦИОННЫМ МЕТОДОМ

**И.В. Вовченко<sup>1</sup>, И.В. Зимовец<sup>1</sup>, К.М. Кузанын<sup>2</sup>, В.М. Накаряков<sup>3</sup>**

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

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

*<sup>3</sup>University of Warwick, Coventry, UK*

В силу высокой температуры и низкой плотности солнечной короны измерение магнитного поля в ней представляются весьма проблематичным. Для определения поля в короне часто прибегают к бессилловому приближению. Имея измерения магнитного поля на уровне фотосферы (или в хромосфере), можно поставить краевую задачу по его экстраполяции в корону. Однако бессилловое приближение нелинейно и не имеет общего аналитического решения, поэтому приходится прибегать к численным методам.

В данной работе использован магнитофрикционный метод, заключающийся во введении фиктивной силы трения в систему уравнений МГД. Метод был апробирован на модельном поле типа аркады магнитных петель и затем применён к реальной активной области на фотосфере Солнца с использованием векторных магнитограмм HMI/SDO.

Работа выполнена в рамках проекта **“Сейсмология активных областей солнечной короны”** программы Institutional Links Британского Совета № 277352569.

# РАССЕЯННОЕ СОЛНЕЧНОЕ ЛАЙМАН-АЛЬФА ИЗЛУЧЕНИЕ КАК ВОЗМОЖНЫЙ СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА ОБРАТНОЙ СТОРОНЕ СОЛНЦА

**А.С. Волосатых<sup>1</sup>, В.В. Измоленов<sup>1,2,3</sup>, О.А. Катушкина<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия,  
volosatykh.as14@physics.msu.ru*

<sup>2</sup>*ИПМех РАН, Москва, Россия*

<sup>3</sup>*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

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

*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), МГУ им. М.В.Ломоносова,  
ИПМех РАН*

Солнечные Лайман-альфа фотоны рассеиваются на нейтральных атомах водорода, которые проникают в гелиосферу из межзвездного пространства. Ранее было показано (Bertaux et al., 2000), что данные о рассеянном Лайман-альфа излучении могут быть использованы для обнаружения активных областей на обратной (невидимой с Земли в данный момент) стороне Солнца. Так как активные области Солнца излучают больше фотонов, чем спокойные, они освещают больше атомов и вносят дополнительный вклад в регистрируемое излучение. Это дополнительное излучение можно обнаружить на полных картах неба в интенсивности рассеянного Лайман-альфа излучения даже в том случае, если активная область находится на обратной стороне Солнца.

В данной работе реализуется модель рассматриваемого явления, а также предлагается метод решения обратной задачи – определения параметров активной области по данным измерений Лайман-альфа излучения на космическом аппарате SOHO (прибор SWAN). Представлены результаты моделирования полных карт рассеянного Лайман-альфа излучения в присутствии активной области с различными параметрами модели. С использованием модели проведен анализ данных SOHO (SWAN) и получены оценки параметров активной области в рассматриваемые даты.

# **СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ВЫСОТНЫХ ПРОФИЛЕЙ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ ДЛЯ СЛУЧАЕВ ВЫСОКОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

**А.В. Германенко, Е.А. Михалко, Е.А. Маурчев**  
*Полярный геофизический институт, Россия,  
alex.germanenko@gmail.com*

**Научный руководитель: Балабин Ю.В.**  
*Полярный геофизический институт*

Для измерения потоков частиц вторичных космических лучей (КЛ) в атмосфере на высотах от уровня земли до стратосферы используются шары-зонды с установленными на них счетчиками Гейгера. На протяжении нескольких десятков лет такой эксперимент проводит группа ученых из ФИАН, благодаря чему на сегодня имеется обширная база высотных зависимостей скорости счета, в том числе и для периодов, соответствующих событиям возрастания уровня радиации (GLE – Ground level enhancement). Такие данные являются хорошим инструментом для проведения верификации вычислений прохождения протонов КЛ через атмосферу Земли и оценки их влияния на скорость ионообразования по всем высотам от 0 до 80 км. В представленной работе приводится сравнение таких рядов экспериментальных данных, соответствующим разным случаям высокой солнечной активности с полученными путем моделирования на RUSCOSMICS результатами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00626

# СПЕКТР СОЛНЦА В БЛИЖНЕМ ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ ПО ДАННЫМ ACS NIR НА БОРТУ TGO

**К.Р. Гизатуллин<sup>1,2</sup>, А.Ю. Трохимовский<sup>1</sup>, А.А. Федорова<sup>1</sup>,  
О.И. Кораблёв<sup>1</sup>, F. Montmessin<sup>3</sup>, Д.С. Бецис<sup>1</sup>, J.-L. Bertaux<sup>1,3</sup>,  
M. Spite<sup>4</sup> и команда ACS**

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

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

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

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

<sup>4</sup>GEPI Observatoire de Paris, CNRS, Гайанкур, Франция

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

Детальное знание солнечного спектра высокого разрешения в ближнем инфракрасном диапазоне является важным аспектом точного моделирования переноса излучения, а также полинейного (line-by-line) расчета спектров атмосфер планет при решении различных задач атмосферной физики. Между тем, до сих пор существует ограниченное количество спектров Солнца в этом диапазоне, полученных путем прямых наблюдений. Одним из лучших на сегодняшний момент является внеатмосферный солнечный спектр CAVIAR (Continuum Absorption at Visible and Infrared Wavelengths and its Atmospheric Relevance)[1]. Поскольку этот спектр получен по наземным измерениям с высоким разрешением, он может содержать неточности в окнах непрозрачности земной атмосферы, в частности, 1.3-1.5 мкм[2].

Комплекс ACS - российский вклад в совместную миссию ESA и Роскосмоса ЭкзоМарс 2016 TGO (Trace Gas Orbiter) [3]. Аппарат TGO вышел на орбиту Марса в октябре 2016 года. ACS - это комплекс из трех инфракрасных спектрометров в диапазоне от 0.7 мкм до 17 мкм с высокой разрешающей способностью (более 10 000).

ACS NIR - инфракрасный спектрометр в составе комплекса, работающий в диапазоне 0.76-1.65 мкм с разрешающей способностью ~25000 [4]. Принцип работы основан на комбинации дифракционной эшелле-решетки и акустооптического перестраиваемого фильтра (АОПФ). Одной из задач спектрометра является измерение в режиме солнечных затмений на орбите Марса. Это первый инструмент за пределами атмосферы, нацеленный на наблюдения Солнца и имеющий такое высокое спектральное разрешение в диапазоне от 1 до 2 мкм.

В этом докладе будет показан солнечный спектр и этапы его восстановления из измерений прибора ACS NIR. В частности, получение коэффициентов для коррекции плоского поля (flat field). Работа сделана на основе измерений Солнца, проведенных в июне 2016 года в ходе полетных проверок комплекса TGO (MCC, Mars Cruise Check-out). В солнечном спектре NIR наблюдаются не обнаруженные до этого солнечные линии и прочие отклонения от солнечного спектра CAVIAR в диапазоне 1.3 - 1.5 мкм, где полоса поглощения водяного пара не позволяет измерить чистый солнечный спектр с помощью наземных наблюдений. Также будет показано сравнение с теоретическим спектром Солнца в ближнем ИК диапазоне[5] и отождествление наблюдаемых ACS NIR фраунгоферовых линий с известными элементами.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Menang, Kaah P., et al. "A high-resolution near-infrared extraterrestrial solar spectrum derived from ground-based Fourier transform spectrometer measurements." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118.11 (2013): 5319-5

2. Elsey, J., Coleman, M. D., Gardiner, T., & Shine, K. P. (2017). Can measurements of the near-infrared solar spectral irradiance be reconciled? A new ground-based assessment between 4,000 and 10,000 cm<sup>-1</sup>. *Geophysical Research Letters*, 44, 10,071–10,080. <https://doi.org/10.1002/2017GL073902>
3. Korablev, Oleg, et al. "Three infrared spectrometers, an atmospheric chemistry suite for the ExoMars 2016 trace gas orbiter." *Journal of Applied Remote Sensing* 8.1 (2014): 084983.
4. Trokhimovskiy, Alexander, et al. "Near-infrared echelle-AOTF spectrometer ACS-NIR for the ExoMars trace gas orbiter." *Infrared Remote Sensing and Instrumentation XXIII*. Vol. 9608. International Society for Optics and Photonics, 2015.
5. Chance, K., and R. L. Kurucz. "An improved high-resolution solar reference spectrum for earth's atmosphere measurements in the ultraviolet, visible, and near infrared." *Journal of quantitative spectroscopy and radiative transfer* 111.9 (2010): 1289-1295.

*Ключевые слова:* ExoMars, TGO, ACS, солнечный спектр.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОЙ ТЯГИ ДЛЯ КА

**С.А. Говор**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, [govor\\_sa@mail.ru](mailto:govor_sa@mail.ru)*

**Научный руководитель: Н.И. Сидняев, д.т.н.**

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

Настоящая работа посвящена исследованию закономерностей функционирования энергетических установок космических аппаратов, а именно двигателей малой тяги с учетом эксплуатационных особенностей многофункциональных спутниковых систем, ориентированных на повышение эффективности управления ими с использованием современных алгоритмов и методов регрессионного и дисперсионного анализов [1, 2]. В статье приведены результаты расчета времени активного существования автоматических космических аппаратов за счет использования современных методов прогнозирования долговечности и оценки эффективности сложных систем. Разработаны методики построения математической модели двигателя малой тяги, а также статистические методы проверки гипотезы адекватности математической модели в различных точках плана факторного пространства [2].

Результаты опытов, проведенных в соответствии с многофакторным планом, обрабатываются так, чтобы по измеренным величинам определить коэффициенты уравнения регрессии заранее выбранного вида (обычно полинома) и получить, таким образом, математическое описание зависимости изучаемых параметров или характеристик объекта (функций отклика) от определяющих факторов и их взаимодействий [1]. Математическое моделирование с таким подходом будет рассмотрено в работах [1, 2, 3]. Если обобщить сказанное выше, электрореактивные двигатели представляют собой комплексные устройства, состоящие из ряда систем, каждая из которых, в свою очередь, состоит из отдельных частей различной сложности. Неполнота и неточность описания процессов затрудняет поиск параметров. При решении задачи времени жизни спутника, как правило, приходится использовать приближенные описания, искать в каждом конкретном случае модель, достаточно простую, но все же отражающую основные характеристики объекта и их связей с другими факторами. Конечно, разработать универсальные модели почти невозможно, поэтому часто приходится использовать различные модели, отражающие те или иные аспекты функционирования одного и того же объекта [2, 3]. При этом всегда необходимо помнить, что очень подробная модель громоздка и неудобна в работе, а слишком простая не дает достаточной информации о рассматриваемых процессах. В статье были построены полиномиальные модели зависимости расхода топлива от высоты, числа маха и удельной тяги [2]. А также была рассмотрена полиномиальная модель зависимости времени жизни спутника от характеристик (высота, температура, сила лобового сопротивления, потребляемая сила тяги, потребляемая мощность, запас рабочего тела).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Говор, С.А. Определение высотно-скоростных характеристик космических аппаратов методами теории планирования эксперимента / С.А. Говор, Н.И. Сидняев, Л.А. Макриденко, В.Я. Геча, В.В. Онуфриев // Тезисы докладов Четвертой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного
2. Говор, С.А. Определение высотных характеристик электрических ракетных двигателей космического аппарата методами планирования

- эксперимента / С.А. Говор, Н.И. Сидняев, Л.А. Макриденко, В.Я. Геча, В.В. Онуфриев // Проблемы управления, 2017. № 1.С. 75-85.
3. Говор, С.А. О случайном дрейфе факторов и параметров регрессионной модели / С.А. Говор, Н.И. Сидняев // XV Всероссийская научная конференция «Нейрокомпьютеры и их применение». Тезисы докладов. Москва: ФГБОУ ВО МГППУ, 2017. С. 81.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖЗВЕЗДНЫХ АТОМОВ ВОДОРОДА В ГЕЛИОСФЕРЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

**Е.А. Годенко<sup>1,2</sup>, В.В. Измоленов<sup>1,2,3</sup>**

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

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

<sup>3</sup>ИПМех РАН, Москва, Россия  
eg24@yandex.ru

**Научный руководитель: Измоленов В.В., д.ф.-м.н.**  
ФГБУН Институт космических исследований Российской  
академии наук (ИКИ РАН), МГУ им. М.В.Ломоносова, ИПМех РАН

Гелиосфера движется через Местное межзвездное облако (Local Interstellar Cloud), из-за чего вследствие относительного движения происходит проникновение межзвездных атомов водорода в гелиосферу. Атомы движутся под действием центрально-симметричного гравитационного поля Солнца. Цель данного исследования - построение трехмерной кинетической модели распределения межзвездных атомов водорода в гелиосфере.

В силу того, что длина свободного пробега межзвездных атомов водорода по столкновениям больше характерного размера гелиосферы, к решению задачи применим кинетический подход. Кинетический подход состоит в решении кинетического уравнения на поиск функции распределения. Предполагается, что невозмущенный поток (во внешности гелиосферы) атомов водорода имеет максвелловское распределение. Учитывается процесс перезарядки атомов водорода на протонах солнечного ветра, наличие которого оказывает существенное влияние на их распределение. Решение кинетического уравнения проводится с помощью метода Монте-Карло с расщеплением траекторий. Расщепление траекторий позволяет уменьшить относительную статистическую ошибку при неизменных вычислительных мощностях. Система уравнений движений материальной точки в центрально-симметричном силовом поле допускает точное аналитическое решение, которое и используется при реализации метода Монте-Карло. Расчеты проводятся на разных сетках - прямоугольной, цилиндрической, а также на специально подобранной сетке, на которой в дальнейшем планируется построить решение самосогласованной (с плазмой) задачи.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕПЛОВОЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ СПУТНИКА CUBEVEL

**Ю.В. Голобурда, Н.С. Конева**

*Физический факультет БГУ, Минск, Беларусь,  
yuliya.goloburda@gmail.com*

**Научный руководитель: Конева Н.С., к. т. н.**

*Физический факультет БГУ*

В последнее десятилетие обозначился существенный рост запуска космических аппаратов (КА) формата CubeSat для научных и исследовательских целей. CubeSat – это формат наноспутников, исполненный в виде куба, длина ребра которого составляет 10 сантиметров, объём составляет 1 литр, а масса не превышает 1.33 кг. Космический аппарат, выполненный в таком формате, принято обозначать как 1U. Для КА типа CubeSat существуют специальные стандарты, в которых определены размеры 1U, 2U, 3U и т.д.

Классификация CubeSat по назначению следующая: автоматические КА (навигационные, спутники связи, военные, межпланетные, технологические, научные), спутники дистанционного зондирования Земли, мониторинга околоземного пространства, промышленно-хозяйственные, университетские.

CubeBel-1 относится к КА стандарта 2U CubeSat и разработан командой студентов и молодых ученых Белорусского государственного университета. Основные цели проекта BSUSat-1 – разработка, производство, запуск на низкую околоземную орбиту (LEO) первого белорусского научно-образовательного спутника CubeSat и последующее сопровождение его орбитальной эксплуатации.

В рамках настоящей работы был проведен анализ и моделирование тепловых полей CubeBel-1 с использованием программного пакета COMSOL Multiphysics. Данный анализ позволяет на основе трехмерной и двухмерной моделей КА спрогнозировать изменение тепловых характеристик при выполнении космического полета, что очень важно для обеспечения стабильной и долговечной работы КА на околоземной орбите.

Также результаты теплового анализа используются для научных исследований и разработки новых моделей CubeBel. Исследованные модели в дальнейшем могут быть использованы для проектирования систем терморегулирования, охлаждения и оптимизации элементов внутренней структуры CubeSat.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ГОЛОВНЫХ УДАРНЫХ МГД ВОЛН В ЗАДАЧЕ О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЗВЁЗДНОГО ВЕТРА С МЕЖЗВЁЗДНОЙ СРЕДОЙ

**А.А. Грановский<sup>1,2</sup>, Д.Б.Алексашов<sup>3</sup>, В.В. Измоденов<sup>1,2,3</sup>**

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

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

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

**Научный руководитель: Измоденов В. В., д. ф.-м. н.**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН)*

Проведено численное параметрическое исследование структуры потока межзвёздной плазмы при стационарном сверхзвуковом обтекании источника (звезды). Используется модель идеальной МГД, в которой в решение входят одна или несколько тонких ударных волн. Исследуется зависимость решения от трёх безразмерных параметров в набегающем потоке: газодинамического и альфвеновского чисел Маха и угла между векторами скорости и магнитной индукции. Непараллельность скорости и магнитной индукции вынуждает решать задачу в полной трёхмерной постановке.

Для некоторых значений параметров структура ударного слоя отличается от общепринятой структуры для немагнитной межзвёздной среды; присутствует «впадина» в окрестности точки стагнации или «промежуточная» ударная волна, считающаяся неустойчивой в классической теории гиперболических уравнений.

# МАРСИАНСКИЙ ГРУНТ-АНАЛОГ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ПОСАДКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**Е.А. Гришакина, Е.М. Сорокин, В.Ю. Маковчук**

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

**Научный руководитель: Слюта Е.Н., к.г.-м.н.**

*Институт геохимии и аналитической химии  
им. В.И. Вернадского РАН*

Для отработки бросковых испытаний посадочных модулей космических аппаратов нами создана модель марсианского грунта-аналога, имитирующего физико-механические свойства марсианского реголита в потенциальном месте посадки, на равнине Oxia Planum. Равнина Oxia характеризуется десятком подразделений типов местности, каждый из которых предполагает свои геоморфологические особенности и свойства приповерхностного грунта, и, как следствие, разные инженерно-геологические условия, которые важно учитывать при моделировании посадочного устройства [1, 2, 3]. В соответствии с распределением компонент грунта, отличающихся по гранулометрическому составу и плотности, по поверхности в потенциальном месте посадки на основе расчетных методов [4] были разработаны 4 варианта смеси для моделирования марсианского грунта-аналога и отобран образец для проведения бросковых испытаний на стенде [3]. Компоненты марсианского грунта-аналога доступны в больших объемах по низкой стоимости, что является необходимым условием при создании грунтов-аналогов для подобных целей. Для изготовления разработанной модели марсианского грунта-аналога были предложены: дробленый кварцевый песок фр. (0.5-1.2)мм – 25 вес. %, окатанный кварцевый песок фр. (0.19-0.23)мм – 15 вес. %, зола-уноса – 30 вес. %, золошлак – 30 вес. %. Даны рекомендации по укладке марсианского грунта-аналога в стенд, которые заключаются в послойном сложении каждые (10-15) см и выравнивании каждого слоя по достижении однородной плотности.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Ivanov M.A., Grishakina E.A., Dmitrovskii A.A., Slyuta E.N., Makovchuk V.Y., Sorokin E.M., Uvarova A.V., Voznesensky E.A., Nikitin M.S. ExoMars landing sites in Oxia Palus and Mawrth Vallis: geological characteristics // The Ninth Moscow Solar System Symposium, Москва, Россия, 8-12 октября 2018. С. 243-245.
2. Ivanov M.A., Grishakina E.A., Dmitrovskii A.A., Slyuta E.N., Makovchuk V.Y., Sorokin E.M., Uvarova A.V., Voznesensky E.A., Nikitin M.S. ExoMars landing sites in Oxia Palus and Mawrth Vallis: small craters and boulders // The Ninth Moscow Solar System Symposium, Москва, Россия, 8-12 октября 2018. С. 246-247.
3. Grishakina E.A., Dmitrovskii A.A., Ivanov M.A., Makovchuk V.Y., Sorokin E.M., Uvarova A.V., Voznesensky E.A., Nikitin M.S., Slyuta E.N. Martian soil simulant for large-scale field experimental research // The Ninth Moscow Solar System Symposium, Москва, Россия, 8-12 октября 2018. С. 240-242.
4. Королев В.А. Моделирование гранулометрического состава лунных грунтов // Инженерная геология, 4/2016. С. 4-14.

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ ИЗ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

**М.В. Денисов**

*МГУ им. Ломоносова, факультет космических исследований,  
Москва, Россия, missshhhaaaa2552@yandex.ru*

**Научный руководитель: Бурцев М.А.**

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

Существует множество распределенных источников данных дистанционного зондирования Земли, предоставляющих свободный доступ к данным пользователю. Этими источниками являются центры доступа к данным, находящиеся как на территории России, так и за рубежом. Это центры Роскосмоса и Росгидромета (ЕТРИС ДЗЗ), ЦКП «ИКИ-Мониторинг», USGS/NASA (США), Copernicus/EU-METSAT/ESA (Европа) и т. д.

Автоматизация процесса получения данных из этих источников значительно упрощает доступ к ним и использование для дальнейших задач.

Один из типов данных, с которыми предстоит работа, это информация о тепловых аномалиях. Это информация о возможных очагах возгорания, берущаяся по данным приборов MODIS, VIIRS. Для каждого из них существует подветочка доступа (двухразных хоста). По неизвестным причинам одна из точек может терять доступ на некоторое время. Для того чтобы продолжалась загрузка данных и они не дублировались, нужно переключать управление, когда падает одна из точек доступа, и проверять уже скачанные данные, как только доступ восстанавливается.

Целью дипломной работы является разработка такой системы, которая, во-первых, будет проверять доступность обеих точек и, в том случае, если одна из них падает, производить автоматическое переключение на другую; во-вторых, она должна проверять то, что уже было скачано. Учет скачанных данных осуществляется посредством ведения лог-файлов во время получения данных. Эти лог-файлы содержат информацию о данных: название, размер, время последней модификации. При каждом запуске программы эти параметры сравниваются с записанными ранее, и, если они различаются, данные обновляются.

Разрабатываемый программный модуль работает с данными, предоставляемыми системой EOSDIS NASA, использует средства языка Python 2.7, а хранение информации о данных выполняется с помощью MySQL баз данных.

# ПОСТРОЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ЛУННОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

**А.О. Дмитриев**

*АО «НПО Лавочкина», Москва, Россия, dmitriev141400@gmail.com*

**Научный руководитель: Сысоев В.К., д.т.н.**

*АО «НПО Лавочкина*

Проведение исследований на поверхности Луны и будущее строительство лунных баз должно опираться на высокоточную систему позиционирования находящихся на Луне объектов, особенно луноходов и пилотируемых аппаратов. Аналогичные по назначению системы глобального позиционирования на Земле успешно функционируют, позволяя пользователям в любой момент определять свое положение с точностью лучше 5 метров. Вполне естественным кажется желание повторить отработанную систему глобального позиционирования и на Луне.

Такая система глобального позиционирования для Луны, являющаяся аналогом земного варианта спутниковой системы глобального позиционирования, представляется очень сложной и дорогой, так как для ее функционирования даже для единственного потребителя необходима работа всей системы из 8-18 космических аппаратов.

Целью работы является представление лунной навигационной системы на новых принципах. Такую систему можно создать на основе средств оптико-электронных систем наблюдения и световых лазерных маяков.

Предполагается создать оптическую навигационную систему, состоящую из реперных точек на Луне, КА в точке Лагранжа и вспомогательного КА на орбите Луны.

Достижение поставленной цели осуществляется благодаря основным составляющим, заключающим в себе научную новизну проекта:

1. Создание каркаса селенодезической системы координат с привязкой осей к точечным реперам (световые лазерные маяки) на Луне (включено в программы «Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс»), благодаря установке новых контрольных световых лазерных маяков с ретрорефлекторами на исследуемых территориях Луны (от 3-5 шт и более, в зависимости от места проведения работ). Необходимо, чтобы положение контрольных маяков было координатно привязано к лунным снимкам LRO, чтобы была получена топографическая карта Луны.
2. Вывод на полярную окололунную орбиту спутника с комплексом аппаратуры, позволяющий измерять углы между направлением на звезду с точно известными экваториальными координатами и направлением на световой маяк.
3. Размещение в точках Лагранжа оптико-электронных инструментов для постоянного наблюдения за аппаратами на лунной поверхности (за основу можно взять аппарат «Спектр-УФ»).

В составе оптико-электронных приборов планируется установить:

- оптический телескоп с полем зрения  $3^\circ$ , что позволит иметь в поле зрения весь диск Луны с угловым разрешением 1 угл. сек., что дает разрешение 100 м;
- импульсный лазер (волоконный лазер), позволяющий в совокупности с телескопом измерять расстояние «космический аппарат – ретрорефлекторы на контрольных лунных станциях».

Система глобального позиционирования объектов на поверхности Луны с применением угломерного устройства на полярном ИСЛ может быть использована для измерений координат любого объекта с точностью  $\Delta L=10-100$  метров, если допускаются измерения с интервалом в две недели.

# СОПОСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА ДАН О РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ВОДЫ В ГРУНТЕ КРАТЕРА ГЕЙЛ ВДОЛЬ ТРАССЫ МАРСОХОДА «КЬЮРИОСИТИ» С ДАННЫМИ ЭКСПЕРИМЕНТА CRISM НА БОРТУ МАРСИАНСКОГО СПУТНИКА MRO

**М.В. Дьячкова, С.Ю. Никифоров, Д.И. Лисов, И.Г. Митрофанов,  
М.Л. Литвак, А.Б. Санин**

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

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

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

Данная работа посвящена сравнительному анализу данных измерений распространённости водорода (предположительно, в форме воды) в эксперименте ДАН на борту марсохода НАСА Кьюриосити и данных измерений минерального состава поверхности в эксперименте CRISM на борту марсианского спутника НАСА MRO (Mars Reconnaissance Orbiter).

Наличие непрерывного профиля распространённости воды в грунте вдоль трассы марсохода, построенного на основе данных активных и пассивных измерений прибора ДАН, позволяет провести прямое сравнение средней массовой доли воды в приповерхностном слое грунта толщиной около 1 метра с распространённостью на поверхности грунта различных гидратированных минералов, которые входят в его состав.

По результатам проведенного анализа было обнаружено повышение средней массовой доли воды для поверхности, содержащей некоторые типы гидратированных минералов. Данное повышение тем больше, чем выраженнее спектральная особенность минерала на поверхности. На основе этого делается предположение о значительной толщине слоя осадочных пород, слагающих поверхность кратера Гейл и содержащих в своем составе гидратированные минералы, которая достаточна для определения прибором ДАН в рамках измерений в пассивном режиме.

# АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СЕЧЕНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ $\text{CO}_2$ В УФ-ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА ОТ 120 ДО 190 НМ

**Д.Г. Евдокимова<sup>1,2</sup>, Д.А. Беляев<sup>1</sup>, Ф.Монтмессан<sup>2</sup>, О.Вено<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup>LATMOS-IPSL, CNRS, Франция

<sup>3</sup>LISA, CNRS, Франция

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

ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН)

Наблюдения звездных просвечиваний в ультрафиолетовом диапазоне, выполненные спектрометрами с бортов космических аппаратов (КА), работающих на орбитах Венеры и Марса, позволили собрать много данных о вертикальной структуре атмосфер. В этом режиме работали приборы СПИКАМ орбитального аппарата «Марс-Экспресс» и IUVS на борту MAVEN, изучающие Марс, а также спектрометр СПИКАВ миссии «Венера-Экспресс», наблюдавший мезосферу Венеры (85-140 км). Главным компонентом атмосфер Венеры и Марса (>95%) является углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), причем условия на изучаемых высотах соответствуют температурам ниже 200 К, достигающим 100 К.

При звездном просвечивании КА движется по орбите, а луч зрения спектрометра, нацеленного на источник излучения (звезду), погружается в более глубокие слои атмосферы. По измеренным спектрам излучения звезды, которое частично поглощается газами и аэрозолями, восстанавливаются вертикальные профили концентраций исследуемых компонентов атмосферы. Задача восстановления – это обратная задача, требующая построения точной модели атмосферного поглощения. Однако температурная зависимость сечений поглощения  $\text{CO}_2$  в ультрафиолетовом диапазоне мало изучена для низких температур, что вносит неопределенность в результат обработки данных экспериментов.

Lewis и Carver (1983) впервые показали температурную зависимость сечений поглощения  $\text{CO}_2$  для температур 200, 300 и 370 К в спектральном диапазоне 121-193 нм [1]. В дальнейшем, эти данные были дополнены [2-4], однако минимальная температура экспериментов составляла 195 К, что выше наблюдаемых температур холодных слоев атмосфер Марса и мезосферы Венеры. Несмотря на это, при моделировании атмосферного поглощения в холодных атмосферных слоях планет используются значения при этой температуре.

Недавний эксперимент, выполненный лабораторией LISA [5], дополнил базу данных сечений  $\text{CO}_2$  значениями при температурах 150 К и 170 К. На основании этих данных нами получен линейный в логарифмическом масштабе закон, позволяющий интерполировать сечения поглощения  $\text{CO}_2$  в диапазоне температур наблюдаемых слоев от 150 до 295 К, а также экстраполировать сечения на более низкие температуры. Для данных звездных просвечиваний эксперимента СПИКАВ, по которым изучается вертикальная структура ночной мезосферы Венеры, где температуры изменяются от 120 до 200 К, было показано, что учет температурной зависимости сечений  $\text{CO}_2$  вызывает систематическую погрешность в значении

ях концентрации, достигающую 50%. Таким образом, полученная температурная зависимость вносит существенную поправку в обработку спектрометрических данных в УФ диапазоне для Марса и Венеры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Lewis B. R., Carver J. H. Temperature dependence of the carbon dioxide photoabsorption cross section between 1200 and 1970 Å. 1983. *J. Quant. Spectr. Rad. Transf.*, 30, 297. DOI: 10.1016/0022-4073(83)90027-4.
2. Yoshino, K. et al. Absorption cross section measurements of carbon dioxide in the wavelength region 118.7-175.5 nm and the temperature dependence. 1996, *J. Quant. Spectr. Rad. Transf.*, 55, 53. DOI: 10.1016/0022-4073(95)00135-2.
3. Parkinson, W. H. et al. Absolute absorption cross section measurements of CO<sub>2</sub> in the wavelength region 163-200 nm and the temperature dependence. 2003, *Chem. Phys.*, 290, 251. DOI: 10.1016/S0301-0104(03)00146-0.
4. Stark, G. et al. Photoabsorption cross section measurements of CO<sub>2</sub> between 106.1 and 118.7 nm at 295 and 195 K. 2007, *J. Quant. Spectr. Rad. Transf.*, 103, 67. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2006.07.001
5. Venot O. et al. VUV-absorption cross section of carbon dioxide from 150 to 800 K and applications to warm exoplanetary atmospheres. 2018. *A&A* 609, A34. DOI: 10.1051/0004-6361/201731295.

# АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ТОКОВ ПО ДАННЫМ МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ЦЕПОЧКИ МАГНИТОМЕТРОВ

**М.А. Евдокимова, А.А. Петрукович**

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

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

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

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 [1] токи представляются в виде бесконечно тонких проводов. Во второй [2] электроджет моделируется последовательностью узких бесконечно длинных полос. Оптимальной является модель с большим числом равномерно расположенных проводов (полос). Однако, большое число параметров (токов) приводит к большим ошибкам, и на более разреженной сети станций описанные методы плохо применимы. Для малого количества станций оптимальной является нелинейная модель с малым числом некоррелированных параметров. Была построена модель одной полосы с тремя параметрами и проведен ее тест на малом количестве станций. Показано как положение станций относительно границ электроджета влияет на параметры модели. Ширина электроджета и плотность тока может варьироваться в зависимости от взятых станций, однако, полное значение тока меняется не сильно. Существенной проблемой использования нелинейной модели, особенно в случае сравнимого количества измеряемых величин и свободных параметров и наличии станций только по одну сторону электроджета, является «сваливание» алгоритма в локальный экстремум, который, как правило, находится далеко от абсолютного и имеет мало отношения к действительности. Для решения этой проблемы было проведено вычисление на случайном множестве начальных значений параметров, распределенных около априорного значения [3]. Правильный экстремум находится «большинством голосов» всех вариантов или по максимуму функции правдоподобия.

## 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.
3. Starkov G. V., Mathematical model of the auroral boundaries, *Geomagnetism and Aeronomy*, 34, 3, 80-86, 1994 (in Russian)

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТНОГО ДРОБЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**В.А. Екимовская**

*ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)», Мытищинский филиал, Россия, lera.ek00@mail.ru*

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

*ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)»*

В работе показано, как экспериментальные данные о дроблении скоростных космических объектов перенести из земной системы координат в связанную с движущимся телом.

Цель работы заключается в определении характеристик взрыва объекта, который движется с большой скоростью, по результатам земных наблюдений из неподвижной системы координат.

Решаемая задача состоит в определении мощности взрыва и скорости разлёта фрагментов взорвавшегося скоростного космического объекта по результатам земных наблюдений.

Математические и физические методы решения задачи основаны на применении законов сохранения импульса и энергии. Для больших дробящихся объектов дополнительно нужно учитывать закон сохранения момента количества движения.

Актуальность исследования процесса дробления скоростных космических объектов связана как с естественной опасностью для Земли от множества приближающихся к ней астероидов, так и с искусственно созданной проблемой засорения околоземного космического пространства техногенными объектами.

При защите Земли от опасных астероидов часто предлагают применить схему искусственного подрыва космического объекта. Но при реализации такой схемы надо учитывать, что центр масс исходного тела и множества образовавшихся взрывных фрагментов будет продолжать двигаться по прежней траектории. В работе показано, как можно практически реализовать подрыв опасного астероида для защиты Земли от столкновения. В частности, решена задача о фрагментации исходного объекта на две части, безразлично, одинаковые или разные по массе и размерам. Пусть опасный космический объект (астероид, комета, большой фрагмент космического мусора) движется в направлении, опасном для всей Земли или для отдельной области нашей планеты. Задача заключается в предотвращении опасного столкновения космического объекта с Землёй или с отдельной её областью. Схема подрыва опасного космического объекта строится так, чтобы общий центр масс образовавшихся осколков двигался в прежнем направлении. Но реально этот центр масс представляет собой идеализированное понятие в виде математической точки, потому что фрагменты отлетели от него после искусственного взрыва. Образовавшиеся взрывные фрагменты имеют повышенную энергию, равную сумме начальной энергии космического объекта и добавленной энергии взрыва. Траектории всех образовавшихся взрывных фрагментов должны быть такими, чтобы не причинить ущерба Земле или отдельным районам. Например, надо изменить траекторию одного исходного опасного космического тела на множество траекторий так, чтобы они отошли от населённых районов Земли в океан или вообще в сторону от нашей планеты.

Физико-математическое решение задачи дробления тела свелось к исследованию гамильтоновой системы с позиции сохранения энергии и импульса. Для подтверждения правильности полученных выводов и предложений для отклонения траекторий был проведён эксперимент с наблюдением взрывов скоростных частиц расплавленного металла, отлетающих от наждачного круга шлифовальной машины. Экспериментальные данные были обработаны и перенесены из земной системы координат в скоростную. Такой пересчёт позволил сформировать требования к мощности взрыва для отклонения фрагментов от первоначальной траектории на заранее заданные безопасные углы.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПОСЕВОВ САХАРНОГО ТРОСТНИКА В ЮЖНОЙ ИНДИИ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ РАЗЛИЧНОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

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

Сахарный тростник – одна из ключевых возделываемых в мире культур, занимающая обширные площади в тропических и субтропических регионах. Индия находится в тройке лидеров по площади плантаций тростника и экспорту сахара, однако в стране стоит проблема оперативного картографирования и дистанционного мониторинга его посевов.

С целью разработки методов автоматического распознавания плантаций сахарного тростника на территории Индии в рамках проекта РФФИ был проведен анализ особенностей спектрального отражения посевов сахарного тростника, сезонной динамики его биомассы и анализ его делимости с другими культурами. Сформирован актуальный сезонный и многолетний архив спутниковых данных на территорию тестового региона (округа Багалкот и Белгаум в индийском штате Карнатака). Проведена оценка информативности дистанционных индикаторов состояния посевов сахарного тростника: рассмотрена информативность индекса NDVI, построенного по данным среднего пространственного разрешения MODIS и данным высокого разрешения Landsat-8 и Sentinel-2A/2B, а также индекса NRVI – Normalized Radar Vegetation Index – нормализованного радарного вегетационного индекса, построенного на данных PCA C-SAR космического аппарата Sentinel-1A/1B. Предложены подходы к выявлению занятых тростником участков на основе временных рядов спутниковых наблюдений растительного покрова. Особенности культуры являются длинный вегетационный сезон (от 12 месяцев), формирование большого количества биомассы, небольшой размер полей (меньше одного гектара), большой временной разброс периодов сева и, следовательно, одновременное присутствие на полях растений в различных стадиях роста. Данные особенности были учтены при выборе признаков распознавания посевов сахарного тростника. Дальнейшая работа будет направлена на исследование возможностей оценки состояния сахарного тростника на основе полученных карт посевов и временных рядов спектральных вегетационных индексов.

В качестве платформы, предоставляющей доступ к спутниковым данным и тематическим картам, а также инструментам их анализа, использована разработанная в ИКИ РАН система VEGA-GEOGLAM. Данное исследование проводилось при финансовой поддержке РФФИ, грант Проект № 18-55-45023 ИНД\_а « Разработка методов спутникового мониторинга сезонного развития посевов сахарного тростника в Южной Индии в целях контроля их водообеспечения и азотного питания». Работа выполнена с использованием ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015) при поддержке Минобрнауки (тема «Мониторинг», госрегистрация №01.20.0.2.00164).

*Ключевые слова:* дистанционное зондирование Земли, картографирование, Landsat, Sentinel, NDVI, NRVI, сахарный тростник.

# АНАЛИЗ АСИММЕТРИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ У МАРСА

**В.Н. Ермаков, О.Л. Вайсберг, С.Д. Шувалов**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
vl.n.ermakov@gmail.com*

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

Несмотря на отсутствие собственного глобального магнитного поля у Марса, в результате взаимодействия замагниченного потока солнечного ветра с верхней атмосферой Марса вокруг него образуется магнитосфера. Ранее, на основании измерений на спутнике MGS, было показано, что величина возникающего у Марса магнитного поля различна в зависимости от ориентации поперечного к линии Солнце - Марс компонента межпланетного магнитного поля, однако из-за отсутствия плазменных измерений на MGS анализ причин этой зависимости был затруднен. Одновременные измерения магнитного поля и плазмы на спутнике MAVEN позволяют детально исследовать это явление и проанализировать причины его возникновения.

На основе данных со спутника MAVEN за 4 месяца измерений, когда перицентр его орбиты находился в северном полушарии Марса, где влияние поля магнитных аномалий незначительно, проводится анализ процессов, которые могут приводить к различной величине возникающего магнитного поля у Марса при различной ориентации его поперечного компонента.

# НАБЛЮДЕНИЕ НОЧНОГО СВЕЧЕНИЯ O<sub>2</sub> В АТМОСФЕРЕ МАРСА ПРИБОРОМ SPICAM/MEX

**М.С. Жарикова**<sup>1,2</sup>, **А.А. Федорова**<sup>1</sup>, **F. Lefèvre**<sup>3</sup>, **F. Montmessin**<sup>3</sup>,  
**О.И. Korablev**<sup>1</sup>, **J-L. Bertaux**<sup>3,1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
mariyazharikova96@yandex.ru

<sup>2</sup>Московский Физико-Технический Институт, Москва, Россия

<sup>3</sup>LATMOS du CNRS/IPSL, Франция

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

ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН)

Ночное свечение кислорода является индикатором циркуляции средней атмосферы Марса в полярных областях. В отличие от дневного свечения O<sub>2</sub>(a1Δg), вызванного фотодиссоциацией озона, ночное свечение O<sub>2</sub>(a1Δg) является продуктом рекомбинации атомарного кислорода, которые образуется в процессе фотодиссоциации CO<sub>2</sub> на дневной стороне на высотах 70-80 км и переносится на ночную сторону циркуляцией Хэдли: O+O+CO<sub>2</sub> – O<sub>2</sub>\* + CO<sub>2</sub>.

Первые наблюдения термоэлектронной эмиссии на ночной стороне были получены спектрометром OMEGA на борту аппарата Mars-Express в 2010 году [1] и после были подтверждены и изучены аппаратами CRISM с Mars-Reconnaissance-Orbiter [2] и SPICAM с Mars-Express [3].

Инфракрасный АОТФ спектрометр SPICAM IR проводит наблюдения атмосферы Марса в ближнем ИК диапазоне (1–1.7 мкм) со спектральным разрешением 3.5 см<sup>-1</sup> в режимах надир, лимб, солнечными и звездными затмениями [4]. Он позволяет измерять свечение O<sub>2</sub> с достаточно большой разрешающей силой (~2200). FOV спектрометра в режимах надир и лимбовых наблюдений составляет 1°, что позволяет получить пространственное разрешение по высоте от 20 до 200 км.

В работе будут представлены методы обработки данных при лимбовых наблюдениях СПИКАМ ИК, карты распределения свечения в полярных областях за несколько марсианских лет, начиная с MY30.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bertaux, J. L., et al. (2012), J. Geophys. Res., 117, E00J04;
2. Clancy, R. T., et al. (2012), J. Geophys. Res., 117, E00J10
3. Fedorova, A.A.et al. (2012), Icarus, Volume 219, Issue 2, p. 596-608
4. Korablev, O. et al.(2006), J. Geophys. Res., 111, E09S03

# МЕРКУРИЙ И ЛУНА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА НА РАЗНЫХ МАСШТАБНЫХ УРОВНЯХ

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

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

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

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

*Московский государственный университет геодезии и картографии (МExLab, МИИГАиК)*

Цель нашего исследования – изучение характеристик рельефа Меркурия и Луны на разных масштабных уровнях для осуществления дальнейшего сравнительно-планетологического анализа. В ходе исследования нами использовались данные КА MESSENGER (MErcury Surface, Space ENvironment, GEochemistry and Ranging) и КА LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter), в частности: изображения Меркурия очень высокого разрешения (10 м/пиксель), полученные узкоугольной камерой MDIS NAC [1] на последних витках аппарата перед падением и окончанием четырёхлетней миссии; новейшая ЦМР Меркурия [2] с разрешением 665 м/пиксель, сформированная фотограмметрическими методами, и покрывающая всю поверхность планеты; Изображения Луны, полученные узкоугольной камерой LROC NAC [3], специально ухудшенные до разрешения камеры MDIS NAC; ЦМР Луны GLD100 [4] с разрешением 118 м/пиксель.

Для достижения цели исследования мы решали отдельные задачи на различных уровнях: глобальном и локальном.

На глобальном уровне нами были проведены расчёты таких морфометрических параметров рельефа Меркурия и Луны, как межквартильный размах Лапласиана, относительная топографическая позиция, а также кривизны поверхности. Это позволило осуществить переход от морфометрии к морфологии – выполнить автоматизированное морфологическое картографирование, отождествляя определённые диапазоны числовых значений морфометрических показателей с конкретными формами макрорельефа.

На локальном уровне мы провели визуальный анализ изображений Меркурия высокого разрешения и выполнили поиск необычных текстур поверхности, схожих с другими, найденными ранее на Луне [5], а также камней.

Оба уровня исследования – локальный и детальный – тесно связаны между собой. Процессы транспортировки реголита формируют не только крупномасштабную морфологию поверхности (упомянутые выше текстуры), но и глобальную. Реголит, перемещаясь по склонам, сглаживает рельеф, оказывая влияние на морфологические характеристики рельефа по всей планете.

Кроме того, выявление различий между сравнительно небольшими объектами на Луне и Меркурии может указывать на фундаментальную разницу в процессах, происходящих на двух небесных телах. Например, по нашим предварительным оценкам скоплений камней на Меркурии значительно меньше, чем на Луне. Это может быть связано как с экстремальными перепадами температур на поверхности планеты, так и с повышенной интенсивностью микрометеоритной бомбардировки близ Солнца.

Работы по автоматизированному морфологическому картографированию Меркурия выполнены при поддержке гранта РФФИ 18-35-00334 мол\_а.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Hawkins S.E., Boldt J.D., Darlington E.H., Espiritu R., Gold R.E., Gotwols B., Grey M. P., Hash C.D., Hayes J.R., Jaskulek S.E., Kardian C.J., Keller M.R., Malaret E.R., Murchie Scott L., Murphy P.K., Peacock K., Prockter L.M., Reiter R.A., Robinso M. S., Schaefer E.D., Shelton R.G., Sterner R.E., Taylor H.W., Watters Th.R., Williams B.D. The Mercury Dual Imaging System on the MESSENGER Spacecraft // *Space Science Reviews*. 2007. Vol. 131. Issue 1–4. P. 247–338. DOI: 10.1016/j.icarus.2011.07.017.
2. Becker K.J., Robinson M.S., Becker T.L., Weller L.A., Edmundson K.L. Neumann G.A., Perry M.E., Solomon S.C. First Global Digital Elevation Model of Mercury, 47th Lunar and Planetary conference, The Woodlands, Texas, March 21-25.
3. Robinson, M. S., et al. (2010), Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC) instrument overview, *Space Sci. Rev.*, 150, 81–124, doi:10.1007/s11214-010-9634-2. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11214-010-9634-2>.
4. Scholten F., Oberst J., Matz K.-D., Roatsch T., Wählisch M., Speyerer E.J., Robinson M.S. GLD100: The near-global lunar 100 m raster DTM from LROC WAC stereo image data, *J. Geophys. Res.*, 2012, 117, E00H17, doi:10.1029/2011JE003926. URL: <http://dx.doi.org/10.1029/2011JE003926>.
5. Kreslavsky M.A., Zharkova A.Yu., Head J.W. Meter-Scale Surface Textures on Mercury: Comparison with the Moon // 49th Lunar and Planetary Science Conference 19-23 March, 2018, The Woodlands, Texas LPI Contribution No. 2083, id.1394.

# ПЛАНЕТОХОД

**А.В. Жметко**

*Самарский государственный социально-педагогический университет, Самара, Россия,  
nastyazhmetko@yandex.ru*

**Научный руководитель: Чесноков А.Н., к.т.н.**

*Самарский государственный социально-педагогический университет*

В настоящее время существует множество программ, посвященных колонизации планет солнечной системы. Одной из важных задач этих программ является установление коммуникаций. Важную роль в этом отводится различного рода планетоходам. Основные требования к ним заключаются в минимизации массогабаритных показателей и приемлемого энергоносителя.

В данной работе рассматривается планетоход, использующий в качестве движителя перемещение газовых масс, в том числе и пылевые бури. Основу конструкции составляет струйный двигатель типа «сегнерово колесо», волновой редуктор и воздухозаборник. Последний для эффективного использования газовых масс использует эффект Коанда и вихревые клапаны.

Планетоход работает следующим образом. Поток газовых масс попадает в воздухозаборник, который ориентируется по направлению действия газового потока при помощи флюгера. Затем концентрируется во входном отверстии струйного двигателя при помощи эффекта Коанда (отклонение струи в нужном направлении) и вихревых клапанов. Последние осуществляют дополнительный перепад давления в воздухозаборнике.

Поток поступает в струйный двигатель и осуществляется вращение, которое передается при помощи волнового редуктора на выходной вал планетохода. Планетоход перемещается в заданном направлении. Струйный двигатель имеет достаточно высокую скорость вращения, которая регулируется конфигурацией сопел. Волновой редуктор имеет большое передаточное число при малых массогабаритных показателях. Совокупное использование струйного двигателя и волнового редуктора позволяет получить достаточно высокий крутящий момент на несущих осях планетохода, что обеспечивает высокую грузоподъемность планетохода.

В разработанной модели источник рабочего тела практически не имеет ограничения. В силу особенности конструкции модель движется в заданном направлении независимо от направления перемещения газовых масс. Газ может соответствовать атмосферным газам планеты, где используется планетоход и может быть практически любым из известных.

Разработана компьютерная модель планетохода. Проведены экспериментальные исследования с использованием воздухозаборника и струйного двигателя. В качестве движителя использовалось перемещение воздушных масс (ветер). Результаты экспериментов показали работоспособность модели.

# ОПТИЧЕСКОЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЯ КРАСНЫХ СМЕЩЕНИЙ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК ИЗ ОБЗОРА ОБСЕРВАТОРИИ ИМ. ПЛАНКА

**И.А. Зазнобин<sup>1</sup>, Р.А. Буренин<sup>1</sup>, А.Р. Ляпин<sup>1</sup>, Г.А. Хорунжев<sup>1</sup>,  
М.В. Глушков<sup>2</sup>, Э.Н. Иртуганов<sup>2</sup>, И.Ф. Бикмаев<sup>2,3</sup>,  
И.М. Хамитов<sup>2,4</sup>, Р.А. Сюняев<sup>1,5</sup>**

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

<sup>2</sup>*Казанский федеральный университет, Казань, Россия*

<sup>3</sup>*Академия наук республики Татарстан*

<sup>4</sup>*Государственная обсерватория Тюбитак, Турция*

<sup>5</sup>*Институт внеземной физики сообщества им. Макса Планка,  
Германия*

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

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

Представлены результаты оптического отождествления скоплений галактик из второго каталога Планка (Сообщество Планка, 2016) и расширенного каталога Планка (Буренин, 2017). В докладе подробно описана процедура оптического отождествления скоплений галактик с использованием данных Слоановского обзора (SDSS), обзора обсерватории WISE в полосе 3.4 мкм, а так же обзора Pan-STARRS. Для скоплений галактик из данных каталогов в настоящее время проводятся спектроскопические измерения красных смещений на 1.6-м телескопе АЗТ-ЗЗИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН, на 1.5-м Российско-Турецком телескопе, а также на 6-м телескопе БТА САО РАН. На настоящее время принята к публикации статья с данными спектроскопических измерений красных смещений для 37 скоплений галактик из второго каталога Планка. А так же получены спектроскопические измерения красных смещений для 70 скоплений галактик из расширенного каталога Планка. В докладе будут представлены результаты этих наблюдений.

# ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА ЭФФЕКТА ДОПЛЕРА В СПЕКТРАХ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ «DOPPLEX»

**П.Р. Запевалин, Т.А. Сячина, А.Р. Шайхутдинов, В.И. Костенко**  
*Астрокосмический центр Физического института имени П.Н. Лебедева РАН, Россия, pav9981@yandex.ru*

В связи с разработкой новых проектов космических обсерваторий возникает задача корректной обработки спектров различных источников излучения. Отождествление линий в спектрах источников осложнено их сдвигом за счет эффекта Доплера, поэтому очень важно иметь быстрый, точный и удобный инструмент для его расчета. Сегодня можно найти несколько онлайн-ресурсов и программ для обработки астрономических данных, позволяющих сделать это. Авторами создано новое программное обеспечение Dopplex, соединившее в себе удобный интерфейс и высокую точность.

С помощью программного обеспечения Dopplex можно решать две задачи: прямую и обратную. Прямая задача состоит в том, чтобы найти частоту, на которую нужно настроить приемник для наблюдения источника. Обратная же задача заключается в нахождении радиальной скорости источника относительно локального стандарта покоя (ЛСП) по наблюдаемым смещениям спектральных линий. Реализована возможность использовать в качестве наблюдателя не только наземные, но и космические радиотелескопы. Также можно производить обработку целых спектров.

Программа создана на языке C++/CLI. Для астрометрических расчетов используется библиотека Международного астрономического союза SOFA [1]. Было проведено тестирование в режиме прямой (с онлайн ресурсом организации ATNF (Australia Telescope National Facility) [2] и обратной задач (с опорными данными, рассчитанными программным пакетом AIPS (Astronomical Image Processing System [3], предназначенным для обработки и анализа данных радиоастрономических наблюдений). В первом случае стандартное отклонение невязки (разница между скоростями наблюдателя относительно ЛСП) составило 8 м/с, во втором – не больше 6 м/с.

В результате работы были получены аналитические формулы для расчета эффекта Доплера относительно ЛСП. Проведен анализ вклада различных астрометрических эффектов в итоговую точность расчетов. Разработано программное обеспечение Dopplex с дружественным интерфейсом и широким функционалом. Dopplex сопровождается полным комплектом документации, в котором полностью описаны логическая структура программы, используемые формулы и алгоритмы.

Программа Dopplex находится в открытом доступе по ссылке [4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. The Sofa software libraries. (International Astronomical Union, 2018)
2. Australia Telescope National Facility, Frequency calculator:
3. <https://www.narrabri.atnf.csiro.au/observing/obstools/velo.html>.
4. Astronomical Image Processing System:  
<http://www.aips.nrao.edu/index.shtml>.
5. Программа Dopplex:
6. <http://asc-lebedev.ru/index.php?dep=6&page=7>

# РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОБЪЕМНОГО РАСХОДА ЧЕРЕЗ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ КЛАПАН

**М.С. Зеленев**

ФГУП «НПО «Техномаш», Россия, mszelenov@gmail.com

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

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Одним из типов современных пневматических устройств являются пропорциональные клапаны регулирования расхода с электромагнитным приводом. Они служат для плавного изменения расхода рабочей среды пропорционально управляющему сигналу. Потенциальными областями их применения служат системы дозирования, медицинское оборудование, научное приборостроение, вакуумные производственные системы и аэрокосмическое оборудование. Примерами последней области являются испытательные системы для имитации условий эксплуатации, контроля герметичности и системы жизнеобеспечения для пилотируемых аппаратов.

Разработка наукоемкого оборудования с использованием пропорциональных клапанов требует серьезного математического моделирования рабочих процессов как всей системы в целом, так и ее отдельных частей. Это позволяет повысить надежность разрабатываемых систем и снизить издержки на проведение натуральных испытаний. Однако применяемые математические модели рабочих процессов в пневматических устройствах, разработанные в приближении сосредоточенных параметров, зачастую ограничены по точности из-за конструктивных особенностей конкретных изделий. Использование моделей в распределенных параметрах повышает точность расчетов, но трудноприменимо при исследовании нестационарных пневматических систем с большим количеством элементов. В связи с этим для расчетов больших систем требуются математические модели рабочих процессов в элементах запорно-регулирующей арматуры (ЗРА), не требующие большого количества вычислений, но в то же время имеющие высокое совпадение с экспериментальными данными.

Предлагается подход к построению нейросетевых моделей рабочих процессов в элементах ЗРА. Данный тип моделей может быть использован для обоснованного выбора комплектующих при построении многокомпонентных пневматических систем. В качестве примера рассмотрено применение описываемого подхода к разработке искусственной нейронной сети для оценки объемного расхода через пропорциональный клапан. Для получения выборки данных использованы данные из каталога производителя. Описана структура предлагаемой нейросетевой модели, предобработка данных для ее настройки и выбранный алгоритм настройки. Разработана компьютерная программа для составления настроечной и проверочной выборок данных и последующей настройки нейронной сети. Имитация результатов измерений на натурном изделии имитируется с помощью дополнительного нормально распределенного шума со стандартным отклонением 0,02. Результаты настройки проверены в сравнении с результатами использования классической математической модели, дополненной эмпирическими коэффициентами. Максимальное отклонение между двумя моделями при тестах составляет менее 2% от максимального значения объемного расхода для конкретной модели пропорционального клапана.

# КОНЦЕПЦИЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО ГЕТЕРОДИННОГО СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ В БЛИЖНЕМ ИК-ДИАПАЗОНЕ

**С.Г. Зеневич, И.Ш. Газизов, М.В. Спиридонов, Д.В. Чурбанов**  
*Московский физико-технический институт*  
*(Национальный Исследовательский университет), Москва, Россия,*  
*zenevich09@mail.ru*

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

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

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

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

Мы представляем концепцию многоканального гетеродинного спектрометра ближнего ИК-диапазона для одновременного непрерывного измерения концентрации углекислого газа и метана в атмосфере Земли, а также их вертикальных профилей. В данной концепции мы значительно переработали и улучшили подсистемы спектрометра, отвечающие за стабилизацию частоты диодного лазера, процедуру обработки гетеродинного сигнала и процедуру слежения за Солнцем. Эти модификации привели к повышению стабильности лазера, избавлению сигнала от нелинейности и способности заводить в оптическое волокно более мощный солнечный сигнал. Что подтверждается экспериментальными данными, собранными во время тестирования физического макета спектрометра.

# ЗОНАЛЬНЫЕ ТЕЧЕНИЯ В ДВУМЕРНОЙ ВЫРОЖДАЮЩЕЙСЯ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ НА БЕТА-ПЛОСКОСТИ

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

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

<sup>2</sup>Московский Физико-Технический Институт  
(национальный исследовательский университет),  
Москва, Россия

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

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

Работа посвящена изучению двумерной вырождающейся магнитогидродинамической турбулентности в астрофизической плазме в приближении бета-плоскости, характерной для различных астрофизических объектов: атмосферы магнитоактивных экзопланет, солнечный тахоклин, атмосферы нейтронных звезд. Используются уравнения эволюции потенциальной завихренности и потенциала магнитного поля.

Для численного моделирования системы уравнений используется псевдоспектральный метод с деалиасингом по правилу 2/3. Для интегрирования системы по времени используется схема Мацуно.

Представлены результаты численных моделирований двумерной вырождающейся магнитогидродинамической турбулентности на бета-плоскости на пространственной квадратной сетке  $1024 \times 1024$  с периодическими граничными условиями. Получено, что в двумерной магнитогидродинамической турбулентности на бета-плоскости образуются только нестационарные зональные течения со сложной временной динамикой. Показано, что нестационарность течений вызвана возникновением в системе изотропных магнитных островов вследствие влияния силы Лоренца.

# ИЗУЧЕНИЕ НУКЛЕОСИНТЕЗА НЕЙТРОННЫХ ЗВЁЗД НА ОСНОВЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

**А.Ю. Игнатовский, Г.С. Бисноватый-Коган**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
Lirts@phystech.edu*

**Научный руководитель: Бисноватый-Коган Г.С., д.ф.-м.н.**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН)*

В докладе представлена кинетическая модель  $\gamma$ -процесса, рассчитывающая эволюцию химического состава в веществе коры остывающих нейтронных звёзд. Учитываются реакции с протонами, нейтронами и бета-распады. Возникшая система дифференциальных уравнений – жёсткая (собственные значения матрицы Якоби отличаются на порядки), сильно разряженная. Для решения такой системы уравнений применяется неявный метод, основанный на методе Гира. Используя данную модель, будет возможно объяснить наблюдаемую распространённость сверхтяжелых ядер в солнечной системе.

# ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА ПРОВЕРКИ ВЫПОЛНИМОСТИ БУЛЕВЫХ ФОРМУЛ

**С.В. Илларионова**

*Московский Государственный Университет  
им. М.В. Ломоносова, факультет Космических Исследований,  
Москва, Россия illarionovasvetlana@yandex.ru*

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

*Московский Государственный Университет  
им. М.В. Ломоносова, факультет Вычислительной Математики  
и Информатики*

Задача планирования дистанционного зондирования содержит огромное количество параметров, влияющих на принятие того либо иного решения. При рассмотрении работы группировки спутников могут возникнуть ситуации, когда запрос на выполнение задания по съемке определенного объекта не может быть выполнен. Например, из-за ограниченности ресурсов, наличия более приоритетной задачи, не позволяющей произвести зондирование в нужный момент времени. Также важными параметрами являются погодные условия, время суток, возможный угол съемки.

Задача планирования дистанционного зондирования может быть рассмотрена как задача выполнимости булевых формул (NP-полная алгоритмическая задача математической кибернетики), где переменными выступают параметры и условия съемки, а выполнимости формулы соответствует возможность реализовать задачу на съемку набора объектов при этих условиях. В докладе представлен алгоритм сведения, позволяющий переходить от задачи планирования к задаче выполнимости. Рассматривается модельный пример, описывающий ограничения на погодные условия, движения спутников и совместную работу аппаратов. На основе сгенерированных модельных примеров строятся описывающие их булевы формулы. Алгоритмы проверки выполнимости, которым подаются на вход такие формулы, имеют большое количество параметров. Оптимальная настройка параметров позволяет значительно ускорить время работы алгоритма, которое при больших размерах решаемой задачи может достигать многих часов, когда решение требует максимальной оперативности. В работах [1, 2] рассматриваются различные методы оптимизации таких алгоритмов. В данном докладе рассмотрен метод оптимизации применительно к задаче планирования дистанционного зондирования. Несмотря на то, что эксперименты проводятся на модельных примерах, задача может быть масштабирована дополнением параметров и ограничений. Для определения оптимальных параметров используются методы машинного обучения применительно к признакам, являющимся структурной характеристикой представления нулевых формул на графах. Показано, что можно получить выигрыш во времени по сравнению с использованием параметров, заданных по умолчанию.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Combinatorial Optimization with Graph Convolutional Networks and Guided Tree Search, Zhuwen Li, Qifeng Chen, Vladlen Koltun
2. Graph Neural Networks and Boolean Satisfiability, Benedikt Bu'nz, Matthew Lamm
3. Increasing the Robustness of SAT Solving with Machine Learning Techniques, Enrique Matos Alfonso

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ HD 209458B ПРИ СИНХРОННОМ ВРАЩЕНИИ ВОКРУГ РОДИТЕЛЬСКОЙ ЗВЕЗДЫ

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

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

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

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

«Горячие юпитеры» - планеты, расположенные на малом расстоянии от звезды (менее 0,1 а.е.) и обладающие массой порядка массы Юпитера. Значительная часть атмосферы некоторых «горячих юпитеров» находится вне полости Роша. Ранее авторами была разработана модель асимметричной газовой оболочки «горячих юпитеров», которая может быть квазистационарной, благодаря динамическому давлению звездного ветра, при этом моделирование проводилось в предположении равномерного распределения температуры атмосферы на фотометрическом радиусе. В настоящем докладе представлены результаты трёхмерного газодинамического моделирования течения вещества в атмосфере HD 209458b с учетом синхронного вращения планеты вокруг родительской звезды и, как следствие, отличного от постоянного профиля температур.

# РОЛЬ АНИЗОТРОПИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ФОРМИРОВАНИИ ТОКОВЫХ СЛОЁВ В ХВОСТОВОЙ ОБЛАСТИ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

**С. Камалетдинов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*МГУ им. М.Ю. Ломоносова, Физический Факультет, Москва, Россия*

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

Доклад посвящён исследованию электронной популяции токового слоя хвостовой области магнитосферы Земли. Используя данные спутниковых наблюдений (миссия THEMIS), получены характерные энергетические спектры электронов в токовом слое и получены оценки на тепловую анизотропию электронов. Спектры аппроксимированы аналитической функцией, учитывающий как экспоненциальный завал фазовой плотности электронов на больших ( $>1$  кэВ), так и степенное распределение на малых энергиях. Используя условия квазинейтральности и интегралы от аппроксимированных спектров, получены пространственные распределения компонент электронного тензора давлений. Комбинация данного тензора давлений и уравнений, описывающих модель одномерного токового слоя, позволяет оценить вклад анизотропии электронов в формирование тонких интенсивных токовых слоёв. Основные теоретические результаты сравнены с данными спутниковых наблюдений токов анизотропных электронов в хвостовой области земной магнитосферы.

# ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ СТРУКТУР В ВЕРХНИХ СЛОЯХ ИОНОСФЕРЫ МАРСА

**К.И. Ким<sup>1,2</sup>, О.Л. Вайсберг<sup>1</sup>, С.Д. Шувалов<sup>1</sup>, В.Н. Ермаков<sup>1</sup>**

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

*<sup>2</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия,*

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

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

В докладе рассматривается неоднородная структура вертикального профиля концентрации электронов, зарегистрированная в верхних слоях ионосферы с помощью радиозатменного эксперимента MaRS (Mars Radio Science Experiment) спутника Mars Express. На основе этих данных изучаются параметры данной структуры, локализация подобных событий по географическим долготе и широте, а также проводится выявление факторов, сопутствующих образованию этих неоднородностей. В работе также проводится сравнительный анализ измерений электронной плотности прибором SWEA (Solar Wind Electron Analyzer) спутника MAVEN и MaRS Mars Express, проводится анализ параметров ионосферной плазмы в высокоширотной области с помощью данных прибора STATIC (SupraThermal and Thermal Ion Composition) MAVEN. Ожидается, что результаты анализа позволят сделать вывод о причинах возникновения данных неоднородностей.

# НЕЛИНЕЙНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛН В СЖИМАЕМЫХ ТЕЧЕНИЯХ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ В МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ПРИБЛИЖЕНИИ МЕЛКОЙ ВОДЫ

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

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

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

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

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

Изучение плазменных сред и плазменных объектов вне земной атмосферы является предметом плазменной астрофизики, включающей область астрофизики (вне солнечной системы), а также область космической физики (Солнце). В последнее время активно развиваются теоретические и численные исследования, направленные на решение фундаментальной проблемы описания и изучения многомасштабных течений астрофизической плазмы путем исследования общих свойств, характеризующих различные объекты во Вселенной. Первые экспериментальные наблюдения крупномасштабных плазменных течений выполнены на основе изучения магнитных полей или с помощью методов астросейсмологии, что естественным образом мотивирует развитие магнитогиродинамической теории с учетом как эффектов сжимаемости, так и эффектов магнитных полей. Заметим, что полная система уравнений магнитной гидродинамики сжимаемой плазмы достаточно сложна как для теоретического анализа, так и для численного моделирования, поэтому в работе мы предлагаем магнитогиродинамические уравнения в приближении мелкой воды с учетом сжимаемости плазмы.

Упрощенная система магнитогиродинамических уравнений в приближении мелкой воды, используемая в настоящей работе, получается из исходных уравнений магнитной гидродинамики сжимаемой плазмы усреднением по глубине в предположении гидростатичности распределения давлений и малости толщины слоя по отношению к характерному горизонтальному линейному размеру задачи. В результате в этом приближении фильтруются звуковые волны, и учитывается зависимость плотности от давления на крупных масштабах, описывающая эффекты статической сжимаемости по сравнению со случаем несжимаемой плазмы. Полученная система нетривиальным образом зависит от отношения характерного вертикального масштаба течения и масштаба высот, на котором вариация плотности становится существенной. В отличие от магнитогиродинамических уравнений мелкой воды для несжимаемой плазмы, высота свободной поверхности не является определяющей характеристикой для описания течений, так как закон сохранения массы записывается через новую переменную, которая зависит от плотности плазмы и высоты столба. Предложены две системы уравнений: сжимаемые уравнения с полным учетом силы Кориолиса и сжимаемые уравнения на бета-плоскости.

В работе получены дисперсионные соотношения для линейных волн магнито-Пуанкаре, магнитоастрофизических волн Россби во внешнем вертикальном магнитном поле и волн Россби в гори-

зонтальном магнитном поле с учетом сжимаемости плазмы. Проведен качественный анализ дисперсионных соотношений линейных волн, и сделаны выводы о возможности трехволновых взаимодействий для каждого типа волн в сжимаемой плазме. Методом многомасштабных разложений получены уравнения трехволновых взаимодействий для всех случаев волновых синхронизмов. Для каждого случая исследованы параметрические неустойчивости, проведено сравнение с несжимаемой плазмой.

# ВЛИЯНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА АККОМОДАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**Н.С. Климова**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, natali.lesnyh@gmail.com*

**Научный руководитель: Сидняев Н.И., д.т.н.**

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

Настоящая работа посвящена исследованию влияния космической погоды на поверхность КА и воздействия основных факторов космического пространства на орбитальный полет КА и спутниковых систем. Рассмотрены принципы и порядок учета метеорологических условий с целью более эффективного использования эксплуатационных траекторных данных КА, повышения безопасности. Особое внимание уделено явлению аккомодации низкоорбитальных спутниковых систем [1]. Изучено проявление Солнечной активности в виде повышенных потоков жесткого электромагнитного и корпускулярного излучения, которые рассмотрены как основной источник космической погоды, создающей опасность для спутниковых систем.

Качественно оценено прямое или косвенное воздействие факторов космической погоды на безопасность спутниковых систем, поверхностную и объемную электризацию КА, деградацию солнечных батарей и материалов КА, аккомодации, одиночные сбои в электронике, аномальное торможение КА и потерю высоты орбиты, на радиосвязь и работу космических радиосистем [2]. Показано, что в периоды сильных геомагнитных возмущений и бурь повышается общий уровень опасности в результате возрастания уровня корпускулярной радиации, возникновения возмущения ионосферы и ионосферных неоднородностей, распухания атмосферы, генерации геомагнитно-индуцированных токов, облегчаются условия проникновения в магнитосферу энергичных частиц.

Аналитические данные об обтекании КА, полученные для условий разреженной среды, значительно разнятся, особенно для параметров трения и теплопередачи, вычисленных по газодинамическим соотношениям для сплошной среды [3]. Такое различие объясняется структурой этих соотношений. Для разреженной атмосферы необходимо пользоваться кинетической теорией, исследующей динамику газа с помощью молекулярной механики. Основные выводы этой теории основываются на принятии дискретной схемы строения, согласно которой среда состоит из соударяющихся молекул, пробегающих достаточно большой свободный путь. Приведены сведения, необходимые для осуществления газодинамических расчетов, связанных с полетами КА в разреженной среде.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сидняев Н.И., Макриденко Л.А., Геча В.Я. Проблемы аккомодации несущих поверхностей низкоорбитальных космических систем/Тезисы докладов Четвертой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». –М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2016. С.59-62.
2. Сидняев Н.И. Исследование разрушения поверхности КА при контактом взаимодействии с микрочастицами космической среды/Космические исследования. 2018. Том №56, №3, С. 233-242
3. Сидняев Н.И. Обтекание гиперзвуковых летательных аппаратов в условиях поверхностного разрушения.-М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. -304 с.

# СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ ОФИЦИАЛЬНОЙ СТАТИСТИКИ ПО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ КУЛЬТУРАМ НА ОСНОВЕ VI-ТЕХНОЛОГИЙ

**Д.А. Кобец, В.А. Толпин**

*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН),  
Москва, Россия, kobets@d902.iki.rssi.ru*

Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [4], ежегодно публикует официальную статистическую информацию по множеству показателей, в том числе связанных с сельскохозяйственными культурами: посевные площади сельскохозяйственных культур [5], урожайность сельскохозяйственных культур [6], валовой сбор сельскохозяйственных культур [7].

Показатели интересны тем, что рассчитываются на основе информации, подаваемой непосредственно самими сельхозпроизводителями в Росстат, но их анализ значительно затруднен, так как в том виде, в котором они представлены в ЕМИСС, отсутствует иерархия измерений: отдельные субъекты федерации (некоторые из которых уже не существуют), районы и федеральные округа не вложены друг в друга, а представлены единым измерением; измерение сельскохозяйственных культур содержит наравне со «Всей посевной площадью» так же различные агрегированные культуры (например, «Зерновые и зернобобовые культуры»), отдельные культуры (например, «Рожь») и формы одной и той же культуры («Рожь (озимая)», «Рожь (яровая)»).

Вероятно, это объясняется постоянным совершенствованием методики расчета, изменением субъектов в составе Российской Федерации и увеличением количества отслеживаемых культур. С другой стороны, временные ряды характеристик некоторых сельскохозяйственных культур, представленных в этих показателях, охватывают довольно продолжительные промежутки времени (к примеру, ряды характеристик пшеницы и ржи начинаются с 1990 года, это на десятилетие больше, чем аналогичные ряды, полученные методами дистанционного зондирования [3]), что представляет значительный интерес для анализа.

В докладе рассматривается:

- особенности консолидации показателей официальной статистики по сельскохозяйственным культурам;
- примеры интерактивных инструментов анализа этих показателей на основе VI-технологий [2], созданных в рамках сервиса анализа данных спутниковых наблюдений BEGA-Science [1].

Работа выполнена при поддержке ФАНО (тема «Мониторинг», госрегистрация №01.20.0.2.00164).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лупян Е.А. и др. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8. – №. 1. – С. 190-198.
2. Палкин Н., Орешков В. Бизнес-аналитика. От данных к знаниям // OLAP-анализ. Питер, 2013. С. 184-192
3. Толпин В. А. и др. Возможности анализа состояния сельскохозяйственной

растительности с использованием спутникового сервиса «ВЕГА» // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27. – №. 7. – С. 581-586.

4. <https://fedstat.ru/>
5. <https://fedstat.ru/indicator/31328>
6. <https://fedstat.ru/indicator/31533>
7. <https://fedstat.ru/indicator/30950>

# ИЗУЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОГО ФОНА НА МЕСТЕ ТУНГУССКОЙ КАТАСТРОФЫ

**А.Д. Козлова**

*ГПОУ «Воробьевы горы», Россия, anastasakd@yandex.ru*

**Научный руководитель: Ромейко В.А.**

*ГПОУ «Воробьевы горы»*

Я представляю исследовательскую работу по сбору радиационных данных, проведенную на месте падения Тунгусского метеорита.

1. Введение
  - 1.1. Вступление
  - 1.2. Гипотезы о природе Тунгусского метеорита
  - 1.3. История исследования
  - 1.4. Природа взрыва
2. Постановка задачи
  - 2.1. Обзор результатов, полученных до 2017 г.
    - 2.1.1. Экспедиция 1960 г.
    - 2.1.1. Экспедиция 1995-1996 г.
  - 2.2. Программа экспедиции 2017 г.
    - 2.2.1. Методы измерений
    - 2.2.2. Табличные значения данных
3. Сравнение материалов 1992-2017
4. Проведение контрольных измерений в Москве
5. Выводы
6. Список литературы
7. Благодарность

# МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ОБЛАЧНОСТИ И ТЕНЕЙ НА МОНОХРОМАТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ МСУ-100М (МЕТЕОР-М №2) НА ОСНОВЕ ДАННЫХ LANDSAT-8 И MODIS

**П.А. Колбудаев, Д.Е. Плотников, С.А. Барталев**

*ФГБУН Институт космических исследований*

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

Прибор МСУ-100М находится на борту аппарата Метеор-М №2, выведенного на орбиту 8 июля 2014 года с космодрома Байконур. Параметры орбиты спутника и ширина полосы обзора двух идентичных камер этого прибора позволяют достичь достаточно высокой частоты повторных наблюдений при пространственном разрешении мультиканальной съёмки 60-120 метров в зависимости от угла наблюдения. МСУ-100М регистрирует излучение в зеленом, красном и ближнем ИК диапазонах длин волн.

Данные МСУ-100М представляют интерес при решении задач дистанционной оценки характеристик земной поверхности и могут быть использованы для мониторинга и оценки растительного покрова. Однако задача автоматического выявления мешающих факторов на изображениях МСУ-100М не может быть решена классическими методами, используемыми для других приборов ДЗЗ.

Характерные особенности прибора МСУ-100М, затрудняющие классическое детектирование облачности, включают значительное различие геометрии наблюдений между зеленым, красным и БИК каналами (параллакс около  $9^\circ$ ) и возникающую в результате разницу во времени наблюдения одного и того же участка поверхности (20 секунд между соседними каналами). После орторектификации и гармонизации разномасштабных изображений на уровне земной поверхности образы объектов облачного покрова оказываются разнесенными на мультиканальном изображении. В результате использование мультиспектральных индексов для выделения облачности по аналогии с методом Fmask оказывается затруднено и дополнительно усугубляется отсутствием коротковолнового канала.

В настоящей работе использовались четырехдневные интерполированные композитные изображения MODIS, с помощью которых производилась первичная допривязка данных МСУ-100М и подсчет корреляции между данными на локальном уровне. Дальнейшим шагом был анализ границ объектов, полученных путём сегментации разновременных изображений Landsat, очищенных от влияния облачности и теней с помощью модифицированного метода Fmask (опорные границы). При этом картографическая проекция и пространственное разрешение данных Landsat приводились в соответствии с аналогичными характеристиками изображений МСУ-100М. После выделения устойчивых границ объектов на текущем изображении МСУ-100М выполнялся локализованный анализ их соответствия опорным границам, полученных на основе данных Landsat с расчетом метрики, характеризующей совпадение, и была произведена допривязка данных. Метод детектирования облачности и теней основан на корреляции между данным МСУ-100М и MODIS. Были определены коэффициенты линейного тренда на основе чистых от влияния облаков и теней пикселей, и для каждого пикселя была посчитана величина, характеризующая отклонение от тренда. На основе полученной величины была построена маска облаков и теней от них.

Указанный метод основан на пространственном анализе изображения и не требует использования мультиканальных индексов и позволяет формировать маски облачности и теней на основании данных только одного спектрального канала, что является уникальным в области детектировании облаков и теней.

# ИНТЕРАКТИВНАЯ КАРТА ЛУНЫ ДЛЯ ПОПУЛЯРИЗАЦИИ ДОСТОЯНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОСМОНАВТИКИ

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

*Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), Комплексная лаборатория исследования внеземных территорий. Москва, Россия, maria\_kolenkina@list.ru,*

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

*Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), Руководитель комплексной лаборатории исследования внеземных территорий*

Вот уже не первый год наблюдается сильный подъем интереса к теме космоса. На этом фоне немаловажным прорывом в области школьного образования можно назвать тот факт, что в школах снова стали преподавать астрономию. Технологии идут вперед и на сегодняшний день наряду с аналоговыми уже повсеместно используются электронные карты, разработанные в среде ГИС. Важным преимуществом электронных карт является обеспечение доступа к данным всем категориям пользователей - от школьников до научных работников и исследователей из любой точки мира.

В настоящей работе рассмотрены возможности создания интерактивной планетной карты, объединяющей достоинства аналоговых и электронных карт. На карте предлагается с помощью ГИС-технологий отразить особенности номенклатуры форм рельефа. Современные геоинформационные технологии позволяют настроить визуализацию дополнительных справочных данных, сохранив все свойства карты, не перегружая картографическое изображение информацией. При этом также сохраняется возможность использования ГИС инструментария для проведения более детальных исследований. Нами было сделано это на примере Луны. Картографирование выполнялось по современным данным дистанционного зондирования высокого разрешения космического аппарата LRO в программном комплексе ArcGIS. Наименования объектов взяты из утвержденного международного газеттира планетной номенклатуры (<https://planetarynames.wr.usgs.gov/>). На карте будут не только отображены формы рельефа и их названия, но и в виде всплывающей таблицы дана краткая биография человека, имя которого носит кратер. При составлении биографических справок на первом этапе предпочтение отдано советским учёным, конструкторам и исследователям, внёсшим вклад в развитие отечественной космонавтики и планетологии.

Основная задача создаваемых интерактивных карт небесных тел - доступно и удобно продемонстрировать краткую информацию о человеке, в честь которого назван тот или иной объект, таким образом заинтересовав школьников не только астрономией, но и достижениями человечества во всех сферах деятельности - искусстве (номенклатура Меркурия), литературе (например, номенклатура деталей рельефа на Фобосе), философии и т.д. Размещение интерактивной карты на он-лайн геопортале планетных данных МИИГАиК (<http://cartsrv.mexlab.ru/geoportal>) и предоставление информации на русском и английском языках обеспечит доступ всем категориям пользователей, в том числе и иностранным. В дальнейшем планируется дополнить карту маршрутами Луноходов с указанием недавно принятых наименований кратеров в честь советских ученых и экипажей-участников миссий, а также панорамами лунной поверхности.

# НЕЙРОСЕТЕВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СУТОЧНОГО ПОТОКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ

**В.А. Колмогорова<sup>1</sup>, С.А. Доленко<sup>2</sup>, И.Н. Мягкова<sup>2</sup>, Ю.С. Шугай<sup>2</sup>, В.В. Калегаев<sup>2</sup>**

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

*<sup>2</sup>НИИ ядерной физики им. Д.В.Скобельцына, Москва, Россия*

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

*НИИ ядерной физики им. Д.В.Скобельцына*

Магнитосфера Земли находится под постоянным воздействием солнечного ветра и отражает вариации параметров межпланетной среды, связанные как с активными, так и с циклическими процессами на Солнце. Наиболее ярким проявлением этого взаимодействия являются магнитные бури и магнитосферные суббури, которые приводят к глобальной перестройке магнитосферных токовых систем и плазменных образований, переносу и ускорению заряженных частиц, захваченных в магнитосферной ловушке. Геомагнитные и радиационные эффекты космической погоды могут вызывать последствия, негативные как для человека, так и для электронной техники, находящейся в околоземном космическом пространстве. По этой причине может нарушаться работа навигационных приборов, телеграфных линий и линий электропередач; появляется необходимость корректировать траектории авиаперелетов и откладывать маневры космических аппаратов. Поэтому прогнозирование геомагнитного и радиационного состояния магнитосферы имеет огромное прикладное значение для радиосвязи, навигации, управления космическими аппаратами, обеспечения безопасности нефтепроводов, а также в других областях человеческой деятельности.

Использование алгоритмов машинного обучения может значительно упростить эту задачу, позволяя описать поведение такой нелинейной системы, как магнитосфера, аппроксимационными методами.

В данной работе предложена модель прогноза интегральных суточных потоков (флюенсов) релятивистских электронов ( $E > 2$  МэВ) внешнего радиационного пояса Земли (РЭ ВРПЗ) на геостационарной орбите. Исследуется зависимость точности среднесрочного нейросетевого прогнозирования от поступающих на вход нейронной сети признаков. Полученные результаты позволяют утверждать, что точность прогноза потоков РЭ ВРПЗ на трое-четверо суток вперед возрастает при добавлении в обучающие параметры прогнозных значений скорости СВ на околоземной орбите, полученных на основе обработки изображений Солнца, получаемых спутником SDO в УФ диапазоне.

Работа выполнена при поддержке финансирования НИИЯФ МГУ по Госзаданию, темы 2.1 (115041410195) и 6.1 (01201255512).

# ДЕШИФРИРОВАНИЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ВЫБРОСОВ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИСПЕТРАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ

**А.В. Колоскова**

*Российский государственный гидрометеорологический университет, Россия, sashatoku@gmail.com*

**Научный руководитель: Федосеева Н.В., к.г.н.**

*Российский государственный гидрометеорологический университет*

Извержения вулканов относятся к природным опасным явлениям. Они вызывают серьезные сбои в сфере авиационных услуг. Небольшие скопления золы могут уменьшить видимость, сделать скользкими взлетно-посадочную полосу и рулежные дорожки, проникнуть в коммуникационные и электрические системы самолета, прервать работу наземных служб, нанести ущерб зданиям и припаркованным воздушным судам. Пепел, увлажнённый дождем, может вызвать перегорание в электрических распределительных системах. Зола может загрязнять топливно-водные системы и забивать зубчатые колеса, что может привести к полному отказу двигателя самолета.

При извержении вулканов в атмосферу могут поступать огромные количества твердых и газообразных веществ. Вулканические выбросы содержат такие газы, как водяной пар, диоксид углерода, диоксид серы, окись углерода, хлор, гелий и тд. Кроме того, в них содержатся твердые продукты в виде золы, вулканических бомб и вулканической пыли. Самыми опасными из них являются зола и соединения диоксида серы.

В ходе данной работы был сформирован архив мультиспектральных спутниковых снимков MODIS Terra/Aqua наиболее значимых вулканических извержений на полуострове Камчатка за последние 10 лет.

Для тематической обработки были использованы спутниковые данные в каналах, расположенных в среднем и дальнем ИК диапазонах, которые являются наиболее чувствительными к эффективному радиусу и температуре составляющих частиц вулканических выбросов, что позволяет существенно улучшить качество дешифрирования вулканических шлейфов, с возможностью обнаружения прозрачных, полу-прозрачных и скрытых облачностью выбросов и диоксида серы в их составе.

# 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ АНИЗОТРОПНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВО ВНЕШНИХ СЛОЯХ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД

**И.А. Кондратьев<sup>1,2</sup>, Г.С. Бисноватый-Коган<sup>1,2</sup>, М.В. Глушихина<sup>1</sup>, С.Г. Моисеенко<sup>1</sup>**

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

Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

<sup>2</sup> Национальный исследовательский ядерный университет

МИФИ, Москва, Россия,

mrkondratyev95@gmail.com

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

ФГБУН Институт космических исследований

Российской академии наук (ИКИ РАН)

Наблюдения теплового излучения от некоторых нейтронных звезд в рентгеновском диапазоне показывают периодические изменения спектра источников, что может быть объяснено анизотропным распределением поверхностной температуры. Это явление возникает из-за того, что во внешних слоях замагниченных нейтронных звезд, таких, как кора и океан нейтронной звезды, теплопроводность вещества подавляется в направлении, перпендикулярном силовым линиям магнитного поля. Таким образом, сравнение результатов моделирования процессов теплопереноса в магнитном поле во внешних слоях нейтронных звезд с наблюдениями теплового излучения может позволить лучше понять структуру магнитного поля в нейтронных звездах.

В настоящей работе численно решено стационарное трехмерное уравнение теплопроводности в присутствии дипольного магнитного поля в коре нейтронной звезды (при плотностях). Вещество в коре представляет собой так называемый кулоновский кристалл, и тепло переносится в основном за счет электронов. В качестве коэффициента теплопроводности использовался тензор теплопроводности для плазмы с сильно вырожденными электронами в магнитном поле, полученный в работе [1]. Для численного решения данной задачи использовался операторно-разностный метод [2] (метод опорных операторов), хорошо зарекомендовавший себя при решении двумерных задач астрофизики (см., например, [3]) и расширенный нами для решения трехмерных задач [4]. Также была построена одномерная модель замагниченной оболочки нейтронной звезды для плотностей, связывающая локальную температуру на дне оболочки с локальной поверхностной температурой нейтронной звезды.

В ходе решения данной задачи были получены распределения температуры внутри коры и на поверхности нейтронной звезды. Для температуры ядра и значения индукции магнитного поля на полюсе звезды отношение поверхностных температур на полюсе и экваторе равняется .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bisnovatyi-Kogan G.S. and Glushikhina M.V. // Plasma Physics Reports, 2018, 44 4 355
2. Арделян Н.В. О сеточных аналогах основных дифференциальных операторов на нерегулярной треугольной сетке. // Разностные методы математической физики.-М.: Изд-во МГУ, 1981. с.49-58.
3. Ardeljan N.V., Bisnovatyi-Kogan G.S. and Moiseenko S.G. // Mon. Not. R. Astron. Soc., 2005, 359 333
4. Kondratyev I.A. and Moiseenko S.G. // J. Phys.: Conf. Series, accepted

# АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА КАК РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

**Е.П. Константинова**

*ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт»  
(НИУ МАИ)», Москва, Россия, elena-konstantin@jenta.ru*

В работе изучается проблема ограниченного доступа к полной базе данных космических снимков с целью исследования наземных объектов. Основным предметом исследования являются базы данных космических снимков, имеющие не всю необходимую информацию для проведения того или иного исследования. Изучаются законы РФ, ограничивающие доступ, а также международные соглашения о пользовательских правах на информацию, полученную с космического снимка.

В информационную эпоху проблема получения достоверной информации о различных территориях Земли является актуальной. Получение данных о наземных объектах, при помощи методов ДЗЗ, остается одним из главных источников качественного и проверенного контента. Данные, полученные с космических снимков, это один из самых всеохватывающих методов, предоставляющий полную и подлинную информацию о труднодоступных территориях Земли. Анализ космических снимков и их дешифровка дают возможность получения таких сведений о территории, как полная и своевременная информация о состоянии почвы, наличия в ней полезных веществ, о температуре, атмосферном давлении и количестве осадков.

Проработав с основными российскими платформами, представляющими коммерческие виды услуг (Совзонд, СканЭкс), были сделаны следующие выводы: спектр услуг довольно ограничен ввиду отсутствия инновационных программ дешифровки, платформы неконкурентоспособны по сравнению с международными аналогичными сервисами, нет возможности получить более точную информацию по исследуемой территории. Следовательно, для получения комплексной информации необходимо делать запросы в зарубежные сервисы (в основном сервис привязан к ряду спутников или отрасли, поэтому возможность получения разноплановых снимков отпадает), но в связи с последними событиями действует ряд ограничений.

Для решения данной задачи предлагается создание аэрокосмической платформы, имеющей полную базу данных космических снимков (начиная с 1972 года).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сутырина Е.Н. Дистанционное зондирование Земли. – Иркутск. Издательство ИГУ, 2013 - 167 с.
2. Klaus Tempfli, Norman Kerle, Gerrit C. Huurneman, Lucas L.F. Janssen. Principles of Remote Sensing / The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITS) – 2009 by ITS, Enschede, Netherlands. - 591 p. - ISBN 978-90-6164-270-1. – ISSN 1567-5777 ITC Educational Text-books Series.

# СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

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

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

<sup>2</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет космических исследований, Москва, Россия, [konstantinova.anouk@gmail.com](mailto:konstantinova.anouk@gmail.com)

Задача мониторинга различных объектов по спутниковым данным очень важна и актуальна в сфере охраны окружающей среды. Такой мониторинг позволяет проследить в динамике изменения, происходящие с природным и природно-антропогенным объектами, в том числе сезонные и межгодовые. Среди наиболее востребованных объектов наблюдений можно выделить русла рек, свалки и полигоны ТБО. Для решения этих задач была создана информационная система (ИС) дистанционного мониторинга с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015). Настоящий доклад посвящён описанию архитектуры ИС-наблюдений за объектами.

С помощью ИС в автоматическом режиме проводится обработка спутниковых снимков различных российских и зарубежных космических аппаратов (КА) и рассчитываются статистические характеристики в рамках заданных объектов. Динамика этих характеристик и оценка отклонения их от нормы позволяют отслеживать процессы, происходящие с объектами наблюдения. Система наблюдения состоит из базы данных объектов, библиотеки доступа к ней, системы обработки и инструментария, позволяющего работать с объектами, управлять обработкой спутниковых данных и анализировать динамику изменений объектов в web-интерфейсе.

В докладе приводятся примеры использования ИС для оценки динамики водных объектов. Для данных объектов наблюдений вводятся «виртуальные» гидропосты. В качестве характеристик для расчёта берутся многоканальные спектральные индексы, позволяющие определить те или иные показатели. Например, водный индекс, определяющий наличие воды в данном пикселе спутниковых данных.

Работа выполнена в рамках темы «Мониторинг» (№ 01.20.0.2.00164). Для проведения разработки использовались возможности Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (<http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=357>).

## ЛИТЕРАТУРА

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

# АРХИТЕКТУРА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПОИСКОВЫХ ЗАДАЧАХ

**Н.Н. Корнева, В.Н. Назаров, М.М. Могилевский**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
nkorneva@romance.iki.rssi.ru*

Показана необходимость разработки инструмента исследователя, предназначенного для автоматизации процесса визуального анализа трехмерных временных рядов спутниковых измерений на предмет выявления и изучения возмущений, предположительно связанных с теми или иными событиями. В работе представлена архитектура программного продукта с позиции деятельности физика по исследованию сигнала методом визуального анализа. Инструмент, разработанный на ее основе, позволит повысить эффективность процесса анализа измерений и в перспективе за счет свойств архитектуры приведет к снижению издержек при расширении функциональности уже существующего инструмента (добавление нового алгоритма обработки, обработка временных рядов другой размерности и др.). Кроме того, инструмент на представленной архитектуре сможет работать как в составе наземного научного комплекса ИКИ РАН, так и автономно.

# FIPS — ПРОСМОТР FITS-ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ OPENGL

**М.В. Корнилов<sup>1,2</sup>, К.Л. Маланчев<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Московский государственный университет  
имени М. В. Ломоносова,  
Государственный астрономический институт  
имени П. К. Штернберга, Москва, Россия,  
matwey@sai.msu.ru*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский университет  
Высшая школа экономики, Москва, Россия*

FITS (Flexible Image Transport System — гибкая система передачи изображений) [2] - это формат хранения многомерных численных данных, широко распространённый в астрономии. Одной из основных областей использования FITS является хранение двумерных изображений, причём как необработанных снимков, например, полученных ПЗС-камерами, так и являющихся результатами обработки данных, например, апертурного синтеза радиоинтерференционных наблюдений. Несмотря на огромные массивы данных, получаемые в астрономии, и различные методики их обработки, на многих этапах работы с данными исследователю необходимо осматривать изображения вручную. Поэтому разработка новых средств просмотра данных формата FITS является актуальной задачей. Мы представляем новый просмотрщик изображений формата FITS — Fips [3]. Основной особенностью Fips является то, что всё изображение загружается в память графического ускорителя, а дальнейшие манипуляции с изображением, такие как масштабирование, вращение, изменение контраста и т. п., производятся графическим ускорителем. Детальное описание взаимосвязи FITS и OpenGL представлено в статье Kornilov, Malanchev (2019) [1]. Использование графического ускорителя позволяет разгрузить центральный процессор, а также выполнять все манипуляции с изображением быстро и энергоэффективно. Fips написан на языке C++ с использованием графического фреймворка Qt и доступен на всех основных платформах для персональных компьютеров: Linux, macOS и Windows. Исходный код программы открыт [3], бинарные пакеты программы доступны в системных менеджерах пакетов операционных систем Fedora 30 и позднее, openSUSE 15.1 и позднее, в менеджере пакетов для macOS Homebrew, а версия для Windows может быть загружена с сайта проекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. M. V. Kornilov, K. L. Malanchev, Fips: an OpenGL based FITS viewer, arXiv:1901.10189, doi:10.1016/j.ascom.2019.01.001
2. D. C. Wells, E. W. Greisen, R. H. Harten, FITS - a Flexible Image Transport System, A&AS44 (1981) 363.
3. Сайт проекта Fips. <http://fips.space>

# СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ АЭРОФОТОСНИМКОВ АЭРОПОРТОВ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

**Ю.Б. Блохинов, В.А. Горбачев, Е.В. Котлярова**  
*ФГУП «ГосНИИАС», Москва, Россия*

Семантическая сегментация изображений — это разделение изображения на отдельные группы пикселей, области, соответствующие одному объекту с одновременным определением типа объекта в каждой области. Задача семантической сегментации является высокоуровневой задачей обработки изображений, относящейся к группе задач так называемого слабого искусственного интеллекта. Она является более сложной, чем задача классификации изображений и поиска объектов, так как необходимо не только определять классы объектов, но и выявлять их структуру, правильно выделять объекты на изображении. В данном докладе семантическая сегментация изображений применяется к аэрофотоснимкам аэропортов в целях автоматизации процесса обработки снимков для обновления карт и извлечения информации о расположении элементов аэропортовой инфраструктуры, зелёных зон, зданий и проч.

Задачу разметки элементов аэропортовой инфраструктуры можно решать несколькими путями, например, с помощью алгоритма случайного леса, различных видов нейронных сетей, а именно FCN, CNN и проч. В данной работе применяются алгоритмы сегментации на основе глубоких свёрточных искусственных нейронных сетей, так как они зарекомендовали себя в ряде задач, в том числе сегментации изображений наземной съёмки, где они показывают стабильно высокие результаты. Было необходимо адаптировать архитектуру нейронной сети с наземной фотосъёмки к аэрофото- и космической съёмке. Предлагается архитектура нейронной сети, состоящая из двух частей: VGG и U-net. Для постобработки и учёта соседства областей с целью устранения выбросов используется алгоритм CRF. Также описываются программные решения, осуществляющие обучение нейронной сети и преобразование её результатов.

В работе описываются основные этапы построения алгоритма, рассматривается технология создания такой нейронной сети, методика получения обучающей выборки и обработки результатов в рамках процесса обучения алгоритма. Результатом работы является получение карт сегментации по качеству близких к разметке аэрофотоснимка человеком.

# ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ НА РЕЗУЛЬТАТ СОВМЕСТНОЙ ИНВЕРСИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ (СЕЙСМИЧЕСКИХ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ) И ГЕОХИМИЧЕСКИХ (ВАЛОВЫЙ СОСТАВ) ДАННЫХ В МАНТИИ ЛУНЫ

**Е.В. Кронрод**

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

**Научный руководитель: Кусков О.Л., д.х.н., член-корр. РАН**

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

Обсуждается проблема согласования сейсмических и гравитационных данных с геохимическими моделями валового состава силикатной Луны. Согласование модельных и экспериментально определенных данных проведено методом инверсии Байеса в сочетании с методом минимизации свободной энергии Гиббса по расчету фазовых равновесий в рамках системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{TiO}_2-\text{CaO}-\text{FeO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  (NaTiCFMAS). Проводилась совместная инверсия геофизических и геохимических данных. Геофизические данные включают времена пробега сейсмических волн, радиус, массу, момент инерции, число Лява второго порядка и коэффициенты добротности с периодами месяц и год. В качестве основных геохимических условий использованы ограничения на модели валового состава Луны с высоким содержанием тугоплавких оксидов  $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 6$  мас. % и земными значениями  $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 4$  мас. %. Отличительная особенность настоящей постановки состоит во включении геохимических параметров силикатной Луны в качестве «наблюденных» величин при расчете функции правдоподобия. Рассмотрены варианты величины погрешности в значениях времен пробега сейсмических волн. Определено значение погрешности во временах пробега, наилучшим образом удовлетворяющее совокупности геофизических и геохимических ограничений.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОЛИНЗИРОВАНИЯ НА КРИВЫЕ БЛЕСКА ГРАВИТАЦИОННО ЛИНЗИРОВАННЫХ СВЕРХНОВЫХ

**А.А. Круглов, Н.С. Лыскова**

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

**Научный руководитель: Лыскова Н.С., к.ф.-м.н.**

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

В настоящее время значения основных космологических параметров известны с очень высокой точностью. Однако недавно было обнаружено расхождение на уровне значимости примерно  $3\sigma$  величины постоянной Хаббла, определяющей темп расширения Вселенной в современную эпоху. Для понимания причин этого расхождения необходимо привлечение независимых подходов, способных также с высокой точностью определять фундаментальные космологические параметры. Одной из таких возможностей является использование наблюдений гравитационно линзированных систем, в частности, гравитационно линзированных сверхновых. Точность оценки постоянной Хаббла из наблюдений таких систем напрямую зависит от точности определения временных запаздываний между изображениями источника. Существующие в настоящее время методы анализа кривых блеска линзированных сверхновых не учитывают влияние движения отдельных звезд (микролинзирование) в галактиках, попавших в “конус” зрения, хотя движущиеся в галактике звезды образуют богатую сеть каустик, переменную во времени, что приводит к тому, что кривые блеска от сверхновых могут испытывать зависящие от времени усиления или ослабления, уникальные для каждого изображения.

Данная работа посвящена изучению влияния микролинзирования на кривые блеска линзированных сверхновых на примере SN Refsdal — первой обнаруженной гравитационно линзированной сверхновой со множественными изображениями. Для изображений сверхновой Рефсдала получена большая выборка карт усиления, возникающих вследствие только эффекта микролинзирования, и проведено их статистическое исследование. Построены распределения вероятности усиления в звездных величинах, изучено влияние микролинзирования на кривые блеска сверхновой в рамках модели расширяющегося диска с постоянной поверхностной яркостью.

# МЕХАНОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ СЕНСОР МИКРОМЕТЕОРИТНОГО ПОТОКА

**Н.В. Крылов, К.В. Татмышевский**

*Владимирский государственный университет  
им. А.Г. и Н.Г.Столетовых, Владимир, Россия,  
krmik@ya.ru,tatmysh@mail.ru*

**Научный руководитель: Татмышевский К.В., д.т.н.**

*Владимирский государственный университет  
им. А.Г. и Н.Г.Столетовых*

В настоящее время при исследовании околоземного космического пространства возникает проблема надежной регистрации факта соударения обшивки космического аппарата с потоками микрометеоритов. Причем условия ударного взаимодействия могут быть весьма разнообразны, находиться в широком диапазоне скоростей и углов соударения, а также механических свойств объектов, с которыми происходит соударение.

В работе сенсора микрометеоритного потока предлагается использовать явление механолюминесценции. Люминесценция в целом, как физическое явление, обусловлена способностью светящихся веществ (люминофоров) трансформировать тот или иной вид энергии в видимый свет или, реже, в ультрафиолетовое или инфракрасное излучение. Одним из перспективных в данном отношении видов люминесценции является люминесценция с механическим возбуждением или механолюминесценция.

Механолюминесцентные сенсоры работают по принципу прямого преобразования входного механического, в том числе ударного, воздействия в выходной оптический сигнал. Такие светогенерационные сенсоры могут использоваться совместно с волоконно-оптическими каналами передачи информации, что обеспечивает высокую помехоустойчивость к электромагнитным помехам. Особенности конструкции делают сенсоры чувствительными к давлениям, распределенным по площади, поэтому они могут выполнять функцию визуализации полей импульсных давлений.

Общая схема сенсора представляет собой структуру оптопары, содержащую механолюминесцентный излучатель, фотоприёмник, оптическую среду между ними, а также элементы электронного и оптического обрамления. Оптическая среда может представлять собой либо открытый оптический канал, либо закрытый оптический канал в виде волоконно-оптического жгута с регулярной укладкой или кабеля. Фотоприемник должен быть многоэлементный (матричный) для регистрации световых полей, формируемых механолюминесцентным чувствительным элементом при воздействии частиц микрометеоритов.

Здесь предлагается вариант конструкции распределенного по площади механолюминесцентного сенсора. Такой сенсор изготавливается в виде тонкой гибкой прозрачной пленки, внутри которой нанесен слой мелкодисперсного порошка механолюминесцентного материала. В качестве люминесцентного материала используется порошок сульфида цинка, легированного марганцем ( $ZnS:Mn$ ) со средним размером зерен 10-15 мкм. Общая толщина сенсора составляет 30-40 мкм. При воздействии на сенсор ударного воздействия микрометеорита механолюминофор в месте соударения генерирует импульс оптического излучения, который передается на матричный фотоприемник. По результатам обработки сигнала

ла фотоприемника можно определить интенсивность соударения, площадь контакта и координаты попадания микрометеорита. Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований сенсора.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЫЛЕВОЙ ДИНАМИКИ БЕЗАТМОСФЕРНЫХ ТЕЛ

**И.А. Кузнецов, А.В. Захаров, И.А. Шашкова, А.Н. Ляш,  
Г.Г. Дольников**

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

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 безатмосферных тел можно измерить, непосредственно взаимодействуя с ними.

Подобные наблюдения и измерения находились на пике активности в конце 60-х – начале 70-х 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 построению экспериментальной установки по моделированию лунной приповерхностной экзосферы, а также результатам, касающимся поднятию пылевых частиц в безатмосферной среде, и способам их регистрации.

# ОБНАРУЖЕНИЕ ОСТАТКА ВСПЫШКИ СВЕРХНОВОЙ RX J1713.7-3946 В ЖЕСТКИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧАХ ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИИ ИНТЕГРАЛ

**Е.А. Кузнецова, Р.А. Кривонос**

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

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

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

В ходе проведения обзора Галактического Центра телескопом IBIS на борту обсерватории ИНТЕГРАЛ был впервые обнаружен остаток вспышки сверхновой RX J1713.7-3946 в жестком рентгеновском диапазоне 17-60 кэВ. В данной работе продемонстрированы карты поверхностной яркости остатка вспышки сверхновой в диапазонах 17-27, 27-36, 36-50 и 17-60 кэВ. Для двух наиболее ярких областей излучения остатка сверхновой были получены спектры, характеризующиеся степенным законом с показателем  $\Gamma \sim 3.1 \pm 0.4$  в диапазоне 17-60 кэВ. Используя спектральные характеристики излучения в мягком рентгеновском диапазоне 0.4-12 кэВ, определенные по данным телескопа Suzaku в 2005-2006 г. (Tanaka et al., 2008), мы оценили величину завала степенного закона на энергии  $29^{+15}_9$  кэВ. Предположительно, жесткое рентгеновское излучение RX J1713.7-3946 может быть вызвано синхротронным излучением электронов с энергией 100 ТэВ, ускоренных в оболочке сверхновой.

# НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

**Э.М. Купенова**

*Московский Государственный Университет  
им. М.В. Ломоносова, факультет Космических  
Исследований, Москва, Россия, kupenova\_elya@mail.ru*

**Научный руководитель: Кашницкий А.В., к.т.н.**  
*ФГБУН Институт космических исследований Российской  
академии наук (ИКИ РАН), kashnizky@gmail.com*

Классификация данных – процесс осуществления анализа данных, в результате которого происходит разделение входной информации на классы с применением определенных критериев. Задача классификации спутниковых снимков состоит в следующем: присвоение пикселям изображения определенной метки класса, к которым они относятся, в зависимости от спектральных характеристик изображения. Результаты данной процедуры используются для различных целей: составление тематических карт, оценки площади сгоревших лесов и т.д. В настоящее время существует огромное количество методов классификации, которые основаны на разных математических алгоритмах. В зависимости от специфики поставленной задачи необходимо использовать метод, который будет наилучшим образом проводить классификацию и выдавать качественный результат.

В информационных системах дистанционного мониторинга, разработанных в Институте космических исследований РАН, ранее был реализован инструмент проведения классификации. Этот инструмент позволяет исследователям проводить обработку данных из долговременных распределенных архивов информации ДЗЗ, предоставляемых Центром коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015). При этом на данный момент с его помощью исследователям доступен лишь ограниченный набор методов классификации. Например, все доступные методы классификации с обучением основаны на принципе максимального правдоподобия. Учитывая, что с помощью описываемого инструмента предполагается решать достаточно широкий круг задач, имеет смысл пополнить существующий список реализованных методов. В настоящей работе будет рассказано о добавленных в информационную систему «ВЕГА-Science» методах классификации и кластеризации. Приводятся примеры их использования и приведена оценка качества результатов при решении различных задач.

## ЛИТЕРАТУРА

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

# ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЭКОЛОГИ-ЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

**А.В. Курагин, А.Н. Колесенков**

*Рязанский государственный радиотехнический университет  
Россия, Рязань, Россия, krgn2003@mail.ru*

**Научный руководитель: Колесенков А.Н., к.т.н.**

*Рязанский государственный радиотехнический университет  
Россия, Рязань*

Сегодня дистанционный мониторинг объектов, как комплексная система, включает в себя две важных компоненты: информация и управление. Взаимосвязь этих компонент осуществляется на основании данных, полученных от различных служб, в том числе и наземных и аэрокосмических.

## **ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (ГИС)**

Сегодня обработка информации в ГИС это не только работа с базой данных, имеющих точки привязки в пространстве и во времени, но осуществление экспертной оценки. Структурированная обработка цифровых данных в современных ГИС осуществляется от разных источников, при этом пользователь одновременно может работать с картографической и тематической (база данных) информациями. Важной составляющей любой ГИС является возможность анализа и прогнозирования.

## **ВОЗМОЖНОСТИ ГИС ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

ГИС является мощным средством для решения разнообразных задач. Экологический геоинформационный мониторинг, осуществляемый средствами ГИС, выполняет функцию контроля и экспертизы экологической обстановки в разных масштабах и категориях.

Эффективные и действительно комплексные ГИС должны включать в себя: базы данных; цифровые карты; программу статистической и математической обработки данных (анализ); прогностическую модель развития ситуации. С помощью ГИС можно очень точно оценивать состояние экосистемы и прогнозировать её развитие.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС ДЛЯ ЗАПОВЕДНИКОВ И ЭКОТУРИЗМА**

Фактически сбор любых данных в заповедниках носит не структурированный характер. Несмотря на это, за долгие годы был накоплен огромный и ценный объем данных, которые не доступны для использования. Именно создание отдельной ГИС позволит подвергнуть глубокому научному анализу собранной информации, как для научного сообщества, так и в целях экологического образования и самообразования.

## **ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИС ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Отсутствие единых мировых и общенациональных стандартов проектирования ГИС. В России различные регионы, ведомства и учреждения пытаются разрабатывать свои ГИС. Как итог, на сегодняшний день мы имеем системы экологического мониторинга только в 22 из 85 регионах РФ.

## **РАЗВИТИЕ ГИС В РАМКАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

В ближайшее время нас ждет резкий рост числа методов получения данных, а также применение новых методов. При этом значитель-

ную роль играют и системы позиционирования объектов. Большое применение найдут облачные технологии. Как следствие обнажатся проблемы обеспечения конфиденциальности и нехватки квалифицированных кадров.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В сфере дистанционного экологического мониторинга наблюдается отсутствие универсального аналитического программного обеспечения современного экологического мониторинга.

# СТУДЕНЧЕСКИЙ ПРОЕКТ ПО СОЗДАНИЮ НАНОСПУТНИКА С СОЛНЕЧНЫМ ПАРУСОМ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ МИССИЙ

**М.Г. Лапутин, М.В.Ульянов**

*МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия, maximilian\_lap@mail.ru*

**Научный руководитель: Попов А. С., старший преподаватель  
Кафедра «Аэрокосмические системы» МГТУ им. Н. Э. Баумана**

Целью проекта является отработка технологии запуска наноспутника на межпланетную траекторию с околоземной орбиты.

Все существующие в настоящий момент в мире университетские космические аппараты являются околоземными. Исследование иных планет, кроме Земли, связано с двумя основными трудностями. Первое: полет к планете назначения самостоятельно невозможен, поскольку современный наноспутник способен добраться до другой планеты только в связке с «большим» аппаратом-носителем на специально выделенном разгонном блоке с использованием отдельной ракеты-носителя. Однако, как правило, университетские проекты не допускают долгого ожидания запуска до момента готовности «большого» аппарата-носителя, поскольку создаются коллективом студентов. Обычный срок создания такого аппарата и реализации миссии не превышает нескольких лет. Разрешение данной проблемы позволит получить возможность для университетских наноспутников добраться до планеты назначения «своим ходом» с орбиты Земли, а значит изучение планет Солнечной системы приобрело бы новое качество и стало бы более массовым. Вторая трудность при создании подобного наноспутника связана с дальностью связи. В настоящем проекте предполагается подойти к разрешению обеих трудностей.

При проведении исследований у межпланетных наноспутников есть особенность, заключающаяся в существенных ограничениях на массово-габаритные параметры оптических инструментов, однако в данном проекте предлагается использовать преимущество спутника с солнечным парусом, заключающееся в его большой площади поверхности, которую можно использовать как детектор. Одной из исследовательских задач может быть изучение пылевой составляющей «атмосферы» Луны. Спутник с большой площадью поверхности имеет высокую вероятность столкновения с частицами пыли и, соответственно, сможет собрать информацию о ее плотности в окололунном пространстве.

Космический аппарат предполагается выполнить в формате CubeSat 6U и запустить на орбиту попутным грузом с использованием стандартного пускового устройства. Светоотражающая поверхность паруса формируется за счет центробежных сил. Вращение создается с помощью реактивных двигателей, рабочего тела которых достаточно только для придания спутнику необходимой угловой скорости. Изменение параметров орбиты осуществляется с помощью паруса. Спутник имеет две светоотражающих полиамидных лопасти шириной 28 см и длиной 160 метров каждая.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КЛАПАННЫХ УЗЛАХ АГРЕГАТОВ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

**А.В. Лебедев, Д.М. Митрофанов, А.О. Логунова**  
ПАО "Ракетно-космическая Корпорация "Энергия"  
им. С. П. Королева", Москва, Россия, [anton.lebedev@rsce.ru](mailto:anton.lebedev@rsce.ru)

**Научный руководитель: Чернышев А. В., д.т.н., профессор**  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Одной из сложнейших задач, стоящих перед разработчиками при создании конструкций различных космических аппаратов, применяемых для освоения ближнего и дальнего космоса, является обеспечение "потребителя" рабочим телом – газом и/или жидкостью. Из-за физико-технических особенностей процесса подготовки и выполнения космического полета на аппараты накладываются существенные ограничения, поэтому с целью экономии места, занимаемого аппаратурой, запас газообразных рабочих тел заправляют в баллоны и баки под высоким давлением. Для функционирования исполнительных устройств и систем, потребляющих сжатый газ, необходимо рабочее давление, значение которого существенно ниже, чем в заправленных баллонах или баках. Пневматические системы снабжены регуляторами давления газа, которые поддерживают необходимое выходное давление с учетом падения давления в баке.

Регулятор давления газа представляет собой агрегат, включающий измерительное устройство, находящееся под воздействием сил упругих элементов и переменных нелинейных газовых сил, в результате чего возможно возникновение режима, характеризующегося потерей его устойчивости. При работе регулятора давления газа в составе системы на его работу влияют прочие агрегаты, работающие в переходных режимах (обратные и предохранительные клапаны, другие регуляторы давления). Для обеспечения устойчивой работы регуляторов давления газа необходимо исследовать динамические процессы, протекающие в узлах агрегатов и системы, и учитывать их взаимовлияние. Данная работа может повысить надежность ракетно-космической техники и сократить временные и материальные затраты при изготовлении изделий.

В докладе представлено обоснование выбора подхода к решению поставленной задачи и сравнение результатов расчета с полученными авторами экспериментальными данными. Расчет редуктора выполнялся с помощью программного комплекса AMESim и специализированного программного комплекса расчета редукторов давления, созданного МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с РКК "Энергия". В основу последнего заложен метод проточных полостей, который интерпретирует агрегат как совокупность полостей переменного или постоянного объема, связанных между собой параметрами рабочего тела.

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОСТАВЛЕНИЯ КАТАЛОГА КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК ДЛЯ КАЛИБРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОЧНЫХ СИСТЕМ

**М.И. Лиходедова**

*Факультет космических исследований МГУ им. М.В. Ломоносова,  
Москва, Россия, marialihodedova@gmail.com*

**Научный руководитель: Жуков Б.С., к.ф-м.н., Балашов И.В., к.т.н.**  
*ФГБУН Институт космических исследований Российской  
академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

Точность привязки снимков, получаемых с космических аппаратов, является крайне важной характеристикой данных, напрямую влияющей на возможность использования их для решения практических задач. Для привязки изображений используются различные методы, в числе которых привязка снимков по контрольным точкам. Контрольные точки представляют собой точки на снимках, координаты которых определены с высокой степенью точности.

В данной работе представлено рассмотрение методов составления каталога контрольных точек для калибровки космических съемочных систем на основе данных Sentinel-2.

Первая часть работы состоит из разработки цепочки интеграции программы, определяющей контрольные точки, и введение ее в систему потоковой обработки. Программа использует алгоритм определения контрольных точек на основе критерия поиска максимума минимального собственного значения матриц производных яркостей.

Вторая часть работы включает проверку гипотез о выявлении контрольных точек методом сегментации изображений и методом выявления линейных элементов с помощью модуля LESSA. В докладе приведены результаты обработки спутниковых снимков данными методами, на основе которых можно сделать выводы о подтверждении или опровержении гипотез.

В заключение, описываются перспективы использования создаваемого каталога для привязки данных съемочной системы существующих и перспективных аппаратов серии Метеор.

# АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКОВ В УСЛОВИЯХ ОБТЕКАНИЯ РАЗРЕЖЕННЫМ ГАЗОМ

**А.А. Логинова**

*МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия, nastya.loginova@mail.ru*

**Научный руководитель: Сидняев Н.И., д.т.н., проф.**

*МГТУ им. Н. Э. Баумана*

Настоящая работа посвящена проблеме определения расчета аэродинамических характеристик космических аппаратов при обтекании разреженным газом. Целью представленных исследований является получение данных, необходимых при проектировании и эксплуатации спутника. В докладе приведены результаты исследования плоского движения относительно центра масс неуправляемого спутника под воздействием гравитационного и восстанавливающего аэродинамического моментов. Считается, что набегающий на поверхность спутника поток газа свободномолекулярный, гиперзвуковой, характер взаимодействия молекул с поверхностью зеркально – диффузный и молекулы испытывают однократные соударения с поверхностью спутника [1]. Исследованы существующие методы и модели для решения задач определения аэродинамических характеристик космических аппаратов в свободномолекулярном потоке разреженного газа. Используются различные модели взаимодействия молекул с поверхностью. Представлены результаты расчета различных моделей взаимодействия газа с поверхностью методом Монте-Карло.

Изучены различные случаи взаимодействия молекул с поверхностью спутника. Указаны величины коэффициентов аккомодации нормального и касательного импульсов, полученных экспериментально в ходе исследований. Представлена зависимость коэффициента восстанавливающего аэродинамического момента. Исследуется влияние проектно – баллистических параметров (начальных условий углового движения, запаса статической устойчивости, отношений моментов инерции) на угловое движение спутника (вращение, колебания). Были определены аэродинамические характеристики – коэффициент нормальной и тангенциальной аэродинамических сил при различных углах атаки и значений температурного фактора для соответствующих высот. На основе этих вычислений получены номограммы в зависимости от начальных значений угла атаки, угловой скорости и высот полета, позволяющие определить проектно – баллистические параметры спутников, обеспечивающие заданное угловое движение под действием гравитационного и восстанавливающего аэродинамического моментов при снижении с низких круговых орбит. Представлен полуэмпирический приближенный метод, основанный на численных и экспериментальных данных, для расчетов аэродинамических характеристик сложных тел [2]. Описан мостовой метод [3], использующий факт того, что значения коэффициентов трения и давления основаны на корреляции для сферы методом прямого статистического моделирования Монте – Карло в переходном режиме.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сидняев Н.И. Исследование разрушения поверхности КА при контактном взаимодействии с микрочастицами космической среды/Космические исследования. 2018. Том №56, №3, С. 233–242.

2. Глухова Л.В., Тимбай И.А. Исследование плоского движения относительно центра масс космического аппарата под действием гравитационного и аэродинамического моментов при снижении с круговых  $\theta$ . орбит // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2010. №4 (24). С. 30-37.
3. Воронич И.В., Мьинт З.М. Влияние особенностей взаимодействия газа с поверхностью на аэродинамические характеристики космического аппарата // Вестник МАИ. - 2010. - Т. 17. № 3. С. 59-67

# КАЛИБРОВКИ НАДИРНОГО КАНАЛА NIR/ACS НА БОРТУ TRACE GAS ORBITER EXOMARS

**А.А. Ломакин<sup>1,2</sup>, А.А. Федорова<sup>1</sup>, А.Ю. Трохимовский<sup>1</sup>,  
О.И. Кораблев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
*aleksander.lomakin96@gmail.com*

<sup>2</sup>МФТИ (НИУ), Москва, Россия

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

Спектрометр высокого разрешения NIR является частью комплекса ACS на борту TGO/Exomars, начавшего научную программу на орбите Марса в марте 2018 года [1]. Спектрометр работает на принципе комбинации эшелле-решетки с акусто-оптическим фильтром (АОПФ) в спектральном диапазоне 0.7 - 1.7 мкм с разрешающей силой порядка 25000. Основными рабочими режимами наблюдений NIR являются надирные и солнечные затмения. Одной из основных задач спектрометра при надирных наблюдениях должен был стать мониторинг водяного пара по полосе 1.38 мкм и дневного свечения кислорода 1.27 мкм (как трейсера озона). В каком-то смысле, NIR/ACS должен был продолжить мониторинг атмосферы в ближнем ИК диапазоне, начатый первым акусто-оптическим спектрометром на Марсе СПИКАМ ИК, который до сих пор работает в составе миссии Марс-Экспресс [2,3,4]. Ожидалось, что NIR на борту ACS будет иметь отношение сигнал/шум, сопоставимое со СПИКАМ-ИК, но при этом спектральное разрешение NIR лучше на порядок, что значительно увеличит точность измерений. Однако из-за замены детектора отношение сигнал/шум оказалось меньше запланированного. Эта работа посвящена текущим летным калибровкам надирного канала и обсуждению его возможностей в перспективе картирования атмосферных газов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Korablev, O., Montmessin, F., Trokhimovskiy, A. et al. Space Sci Rev (2018) 214: 7. <https://doi.org/10.1007/s11214-017-0437-6>
2. Korablev, Oleg, et al. "SPICAM IR acousto-optic spectrometer experiment on Mars Express." Journal of Geophysical Research: Planets 111.E9 (2006).
3. Trokhimovskiy, Alexander, et al. "Mars' water vapor mapping by the SPICAM IR spectrometer: Five martian years of observations." Icarus 251 (2015): 50-64.
4. Guslyakova, S., et al. "Long-term nadir observations of the O2 dayglow by SPICAM IR." Planetary and Space Science 122 (2016): 1-12.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ ПРИ АНАЛИЗЕ ЭВОЛЮЦИИ ОБЛАЧНОСТИ ПОЛЯРНЫХ МЕЗОВИХРЕЙ

**В.О. Лопуха**

*Российский государственный гидрометеорологический университет, Россия, volorukha@yandex.ru*

**Научный руководитель: Федосеева Н.В., к.г.н.**

*Российский государственный гидрометеорологический университет*

Полярные циклоны – мезомасштабные вихри, формирующиеся ближе к полюсу (как к Северному, так и Южному) от полярного фронта или других главных фронтальных зон. Акватория Северо-Европейского бассейна наиболее благоприятна для формирования мезовихрей из-за существенного градиента температуры в приводном слое. Эта область возникновения полярных вихрей изучена лучше, чем аналогичная область в морях восточной части Арктики.

Для анализа эволюции поля облачности мезомасштабных полярных циклонов в данной работе используются мультиспектральные данные уровня обработки 1B (Level 1B Calibrated Radiances), полученные при помощи спектрорадиометров VIIRS метеорологического спутника Suomi NPP (NOAA) и MODIS, установленного на борту спутников Aqua и Terra. Спутниковые изображения, благодаря их высокой периодичности съемки в полярной зоне, являются лучшим инструментом для обнаружения и мониторинга полярных циклонов, в отличие от численных моделей и синоптических карт.

Данная работа посвящена исследованию эволюции облачных систем полярных вихрей в сроки март-апрель 2017 и сентябрь 2018 гг. Для детального анализа особенностей структуры облачности мезовихря были использованы изображения в оптическом и ИК-тепловом каналах. В ходе выполнения работы были применены различные схемы цветового синтеза спутниковых изображений, позволяющие проследить эволюцию облачной системы мезовихря на микрофизическом уровне. Предложенные методы тематической обработки имеют практическую ценность при анализе отдельных форм облаков, из которых формируется облачная система мезовихря на разных стадиях его развития, и скорости эволюции облачной системы в целом.

# УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ ЗЕМЛИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИГНАЛОВ НАЗЕМНЫХ ОНЧ-ПЕРЕДАТЧИКОВ

**А.А. Лужковский, Д.Р. Шкляр**

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

**Научный руководитель: Шкляр Д.Р., д.ф.-м.н.**

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

Исследована динамика электронов радиационных поясов Земли на больших временах, включающих много баунс периодов колебаний частиц, связанная с их взаимодействием с сигналами наземных ОНЧ-передатчиков. Основное упрощение рассмотренной модельной задачи заключается в предположении о распространении сигнала вдоль внешнего геомагнитного поля. Такое упрощение часто используется при исследовании распространения и резонансного взаимодействия с энергичными частицами свистовых волн в магнитосфере Земли. В этом случае резонансное взаимодействие происходит на одном – первом циклотронном – резонансе. Рассматривается взаимодействие волн и частиц в неустойчивой плазме, предполагая наличие в функции распределения энергичных электронов конуса потерь и/или анизотропии температур. В этом случае амплитуда сигнала, который представляет собой квазимонохроматический пакет свистовых волн, не симметрична относительно экватора, что, как показано в работе, ведет к среднему по времени увеличению энергии захваченных по фазе частиц. Это приводит к тому, что динамика частиц на больших временах оказывается отличной от чисто диффузионной. Построено модельное уравнение для функции распределения частиц, справедливое на больших временах, которое решено численно. Важным параметром этого уравнения является вероятность фазового захвата частиц волной, который может происходить при движении частицы от полюса к экватору. Дана количественная оценка вероятности захвата. Численное решение уравнения для функции распределения показывает, что в фазовом пространстве существует два аттрактора: один в области минимальной резонансной энергии на L-оболочке распространения пакета, и второй в области больших поперечных энергий. Поперечная энергия, отвечающая второму аттрактору, зависит от интеграла движения частиц, который в рассматриваемом случае имеет вид  $W - \mu\omega = \text{const.}$ , где  $W$  – кинетическая энергия частицы,  $\mu$  – ее магнитный момент и  $\omega$  – частота сигнала передатчика. Оба аттрактора соответствуют минимальной продольной энергии частицы, при которой возможно ее резонансное взаимодействие с волной. Эта минимальная энергия равна, очевидно, минимальной резонансной энергии на рассматриваемой L-оболочке, а именно,  $m(V_r^2)_{\min}/2$ , где  $V_r = (\omega - \omega_c)/k$  – резонансная скорость,  $\omega_c$  – электронная циклотронная частота, и  $k$  – волновой вектор.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОЭМИССИИ ЗВЁЗДНЫХ ДАТЧИКОВ

**К.П. Любченко, Н.А. Строилов, Н.Ф. Абрамов**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва,  
Россия, kostya2154@gmail.com*

**Научный руководитель: Брысин Н.Н., к.т.н.**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН)*

В работе приводятся результаты исследования звёздных датчиков (ЗД), разрабатываемых в ИКИ РАН, на электромагнитную совместимость (ЭМС). Каждый электронный блок из состава ЗД, например, вторичный источник питания или плата процессора, является источником электромагнитных волн (ЭМВ) с частотами, соответствующими тактовым частотам отдельных электронных элементов.

Для авторов данной работы представляет интерес различие в характерах излучений приборов, построенных на двух принципиально различных схемотехнических решениях. В частности, с применением приёмника изображения с активным пикселем и ПЗС. Так, применение приемника изображения типа ПЗС предполагает реализации источника питания с несколькими номиналами выходных напряжений, реализацию схем сдвига зарядов, аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) и т.п. Тогда как в приемнике с активным пикселем уже интегрированы необходимые для работы узлы. С другой стороны, тактовые частоты приемника с активным пикселем, как правило, намного выше, чем в схемах с ПЗС, что не может не отразиться на спектре эмиссии ЭМВ.

Также проведенное исследование было направлено на изучение индикатрисы излучения ЭМВ в диапазоне частот от 1 до 300 МГц. В процессе измерения исследуемый прибор поворачивался вокруг собственных осей относительно измерительных антенн с шагом 30°. Полученные результаты послужили основой для анализа конструкции ЗД с точки зрения ЭМС.

# ОПТИЧЕСКОЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВЫХ СОБЫТИЙ ПРИ ПОМОЩИ ТЕЛЕСКОПОВ РТТ-150 И АЗТ-33ИК

**А.Р. Ляпин, Р.А. Буренин**

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

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

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

Наземная сеть гравитационно-волновых обсерваторий LIGO/Virgo начинает третий этап наблюдений 01 апреля 2019 года. Впервые оповещения о регистрируемых событиях будут широкодоступными.

В связи с этим мы начинаем соответствующую программу наблюдений на 1,5-м российско-турецком телескопе (РТТ-150) и 1,6-м телескопе Саянской обсерватории (АЗТ-33ИК). В частности, нами разрабатывается ПО для автоматического составления программы наблюдений с целью оптического отождествления источников гравитационных волн.

# ПОИСК И НАБЛЮДЕНИЯ КАНДИДАТОВ В ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВЫХ СОБЫТИЙ LIGO/VIRGO

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

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

Впервые гравитационно-волновой сигнал был зарегистрирован 14 сентября 2015 года как результат слияния двух черных дыр с массой около 30 солнечных каждая. В 2017 году зарегистрировано первое, и на данный момент единственное, слияние двух нейтронных звезд. Всего насчитывается 6 значимых регистраций гравитационно-волновых событий. Особый интерес, с точки зрения физического понимания явления, представляет поиск и наблюдение событий LIGO/Virgo в электромагнитном диапазоне (от гамма-до радио). Задача поиска таких компонентов не является простой, поскольку область локализации событий LIGO/Virgo в цикле наблюдений O2 составляла сотни квадратных градусов, в которой могло находиться большое количество транзиентных источников различной природы. Мы представляем собственные наблюдения оптических транзиентов в областях локализации гравитационно-волновых событий LIGO/Virgo в цикле наблюдений O2 в 2017 г. В частности, в обзоре Pan-STARRS было найдено 124 объекта с переменным потоком в области локализации гравитационно-волнового события GW170104, 5 из которых исследовались в рамках данной работы. Аналогично мы проводили поиск оптического компонента от GW170817, было покрыто 14.4 % области локализации LIGO/Virgo. А также покрыто 16 % северной части области локализации GBM/Fermi ассоциированного с гравитационно-волновым событием гамма-всплеска GRB170817A. Обсуждается стратегия и тактика поиска и идентификации транзиентных объектов при наблюдении областей локализации событий LIGO/Virgo.

# **ПРИБОР ТЕРМО-ЛР, ВХОДЯЩИЙ В СОСТАВ ПОСАДОЧНОГО МОДУЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ МИССИИ «ЛУНА-РЕСУРС-1»**

**В.Ю. Маковчук**

*Институт геохимии и аналитической химии  
им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия,  
makovchuk.vladislav@yandex.ru*

**Научный руководитель: Слюта Е.Н. к.г.-м.н.**

*Институт геохимии и аналитической химии  
им. В.И. Вернадского РАН*

Прибор ТЕРМО-ЛР предназначен для исследования теплофизических свойств поверхности реголита Луны: удельной теплоемкости, теплопроводности, тепловой инерции, внутреннего теплового потока, а так же физико-механических характеристик. Прибор состоит из трех функциональных блоков: блока электроники, блока глубинных измерений с устройством внедрения и блока поверхностных измерений с установленным в нем поверхностным термодатчиком.

Блок электроники устанавливается на теплостабилизированную панель, является ключевым узлом по управлению всей электроники прибора и преобразованию сигналов с поверхностных термодатчиков в определенные величины.

Блок поверхностных измерений устанавливают 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.

Блок глубинных измерений устанавливается на корпус посадочного модуля и обеспечивает доставку устройства внедрения на поверхность реголита и производит сопутствующие измерения физико-механических параметров лунного реголита во время заглупления.

# ИССЛЕДОВАНИЕ УСКОРЕНИЯ ИОНОВ РАЗНЫХ МАСС ( $H^+$ , $He^+$ , $O^+$ ) ВО ВРЕМЯ ДИПОЛИЗАЦИЙ В БЛИЖНЕМ ГЕОМАГНИТНОМ ХВОСТЕ

**А.Ю. Малыхин, Е.Е. Григоренко, Е.А. Кронберг, П. Дали**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
anmaurdreg@gmail.com*

В данной работе представлен анализ динамики сверхтепловых (50-700 кэВ) ионов разных масс ( $H^+$ ,  $He^+$ ,  $O^+$ ) во время диполизаций в ближнем геомагнитном хвосте ( $X < -16 R_E$ ) по данным инструмента RAPID миссии Cluster с 2001 по 2005 гг.

Ранее было показано, что в развитии диполизаций можно выделить несколько ключевых фаз [1], а именно: резкое возрастание вертикальной компоненты магнитного поля ( $B_z$ ); и последующий более плавный рост  $B_z$ . Статистически установлено, что начало роста потоков сверхтепловых ионов наблюдается за 50 с до начала диполизации, и продолжается после резкого скачка  $B_z$ . Одновременно с ростом потоков наблюдается и уменьшение показателя степенного энергетического спектра ( $\gamma$ ). Уменьшение  $\gamma$  начинается примерно за 50 с до начала диполизации и продолжается примерно в течение 30-40с после скачка  $B_z$  для протонов, и в течении 100с и 180 с для  $He^+$  и  $O^+$  соответственно. Для ионов  $O^+$  отрицательная вариация  $\gamma$  в среднем в 2.5 раза больше, чем для более лёгких ионов. Таким образом, имеет место ускорение ионов разных масс во время фазы роста диполизации. При этом тяжёлые ионы испытывают более сильное ускорение, чем протоны.

Мы рассмотрели возможность неадиабатического механизма ускорения [2], предполагая, что частица ускоряется электрическим полем, связанным с диполизацией. Для этого была произведена оценка энергии ( $W$ ) которую потенциально могла бы приобрести частица на разности потенциалов двигаясь поперёк диполизационного фронта. Полученные зависимости между вариациями показателя спектра ( $\delta\gamma$ ) и  $W$  для ионов разных масс, свидетельствуют о возможной реализации данного механизма ускорения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Grigorenko, E. E., Dubyagin, S., Malykhin, A. Y. // Geophys. Res. Lett. 2018. V. 45. P. 602.
2. Greco A., Artemyev A., Zimbardo G. // Geophys. Res. Lett. 2015. V. 42. P. 8280.

# СУПЕРГРАВИТАЦИЯ С НАРУШЕННОЙ ЛОРЕНЦ-ИНВАРИАНТНОСТЬЮ: ТЕОРИЯ И ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ

**А.О. Маракулин**

*ФГБУН Институт ядерных исследований Российской академии наук, Россия, tarakulin@physics.msu.ru*

**Научный руководитель: Сибиряков С. М., к.ф. – м.н.**

*ФГБУН Институт ядерных исследований Российской академии наук*

Важнейшей проблемой современной теоретической физики является несовместимость принципов квантовой теории поля и общей теории относительности: вопросы построения непротиворечивой квантовой теории гравитации остаются открытыми. Выходом из сложившегося положения может стать ограничение области применимости ряда постулатов, на которых построена современная теория гравитации, и отказ от них на высоких энергетических масштабах. Одним из вариантов такой модификации теории является отказ от лоренц-инвариантности как фундаментальной симметрии. Ряд лоренц-нарушающих модификаций эйнштейновской общей теории относительности хорошо зарекомендовал себя с точки зрения лучшей совместимости с квантовой теорией поля: так, весьма перспективным представляется нерелятивистский подход к квантованию гравитации, предложенный П.Хоравой. Низкоэнергетический предел теории Хоравы - хронометрическая теория гравитации - является частным случаем так называемой теории Эйнштейн-эфир гравитации, в которой нарушение лоренц-инвариантности обеспечивается времениподобным векторным полем с единичной нормой, называемым эфиром, минимально связанным с эйнштейновской гравитацией.

Нарушение лоренц-инвариантности при высоких энергиях, как правило, приводит также к существенному нарушению в области низких энергий, поэтому интерес представляют модели, в которых лоренц-инвариантность образуется динамически как эффективная симметрия в пределе низких энергий. Один из таких механизмов основан на суперсимметрии. Настоящая работа посвящена построению теории супергравитации с нарушенной лоренцевой симметрией. Суперсимметричная модель лоренц-нарушающего гравитационного супермультиплетта рассмотрена как суперсимметричное расширение модели Эйнштейн-эфир гравитации как с использованием суперполевого формализма, так и в терминах компонентных полей. Подробно изучена суперсимметричная теория линейаризованной гравитации с нарушенной лоренц-инвариантностью, основанная на конструкции суперполя эфира, гравитационного суперполя и линейного компенсатора, характерного для неминимальных моделей  $N=1$  супергравитации. Построен лагранжиан Эйнштейн-эфир супергравитации в суперполях, проведено интегрирование по суперпространству для получения компонентного выражения бозонной части действия, а также отинтегрирование вспомогательных полей в decoupling-пределе. Рассмотрена структура супертокового мультиплетта теории. С помощью вычислений в компонентах получен вид фермионного сектора. Выведены феноменологические следствия теории, рассмотрен вопрос о скоростях распространения малых возмущений различной спиральности, получены ограничения на параметр модели из результатов гравитационно-волновой астрономии. Рассмотрен вопрос нелинейного обобщения линейаризованной теории.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю С.М. Сибирякову.

# ОЦЕНКА ВКЛАДА ПРОТОНОВ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В СКОРОСТЬ ИОНИЗАЦИИ ВЕЩЕСТВА АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

**Е.А. Маурчев, А.В. Германенко, Е.А. Михалко, Ю.В. Балабин,  
Б.Б. Гвоздецкий**

*Полярный геофизический институт, Россия,  
maurchev1987@gmail.com*

**Научный руководитель: Балабин Ю.В.**  
*Полярный геофизический институт*

Во время вспышек Солнце способно генерировать протоны с энергиями, достигающими десятков ГэВ и плотностью потока, большим по значению для этих же частиц в галактических космических лучах (КЛ) на несколько порядков. Если эти солнечные КЛ направлены в сторону Земли и достигают ее атмосферы, то наземные детекторы регистрируют событие GLE (Ground level enhancement), которое выражается в существенном возрастании уровня радиации. Связано это с увеличением передачи энергии как на ионообразование в верхних слоях атмосферы Земли (от ~30 км до 80 км), так и на каскадные процессы, возникающие в области ниже 30 км. В представленной работе рассматривается использование численного моделирования прохождения первичных протонов солнечных КЛ через вещество атмосферы для проведения количественной оценки степени возрастания скорости ионизации в сравнении со временем, когда в первичном потоке присутствуют частицы только галактических КЛ. В качестве технической особенности можно выделить то, что входные параметры в виде спектральных характеристик получены путем обработки данных сети станций нейтронных мониторов по уникальной методике, разработанной группой ученых Полярного геофизического института. Все приведенные в работе расчеты высотных профилей выполнены при помощи программного комплекса RUSCOSMICS, основанного на GENT4, крупнейшем в мире наборе классов языка C++, предназначенных для моделирования взаимодействия частиц.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00626

# ФАЗОВО-РАЗРЕШЕННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ МАССИВНОЙ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ 2S 1845-024

**А.Н. Мелихов<sup>1,2</sup>, С.В. Мольков<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский университет  
Высшая школа экономики, факультет физики, Москва, Россия*

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

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

По данным орбитальной обсерватории NuSTAR мы провели спектрально-временные исследования излучения массивной двойной системы с рентгеновским пульсаром 2S 1845-024. В частности, мы исследовали эволюцию периода собственного вращения нейтронной звезды во времени и оценили согласие полученных результатов с моделью изменения частоты, выведенной по всем данным наблюдений предыдущих декад. Также мы представляем как средние энергетические спектры излучения, так и спектральный анализ излучения в зависимости от фазы вращения пульсара. Для анализа поведения пульсара вдали от главного компаньона, в частности режима аккреции, мы провели спектрально-временные исследования по данным обсерваторий XMM-Newton, XRT и Chandra. Кроме того, представлен спектр мощности источника. Показано, что в спектре мощности отсутствует излом на частоте вращения рентгеновского пульсара, соответствующий кеплеровской частоте вращения на внутреннем крае аккреционного диска. Это является свидетельством того, что аккреция происходит не из диска, а из ветра.

# РАЗРАБОТКА ГЕТЕРОДИННОГО СПЕКТРОМЕТРА СРЕДНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТНЫХ АТМОСФЕР HISPAR

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

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

К настоящему времени нашей группой разработан инструмент HISPAR (Heterodyne Infrared Spectrometer for Planetary Atmospheres Research) — гетеродинный спектрометр для исследования планетных атмосфер на основе квантово-каскадных лазеров (ККЛ)[1] с распределенной обратной связью, работающий в средней инфракрасной области спектра. Прибор может быть установлен на инфракрасных телескопах метрового класса для наблюдения атмосфер планет.

Нами были спроектированы и изготовлены вакуумированные охлаждаемые корпуса квантово-каскадных лазеров (ККЛ) с распределенной обратной связью, используемых в качестве источников опорного сигнала. Были изучены рабочие характеристики ККЛ. Оптическая схема прибора была перенесена на передвижной оптический стол для возможности испытаний разрабатываемого спектрометра в условиях реальных астрономических наблюдений. С целью лабораторной отработки автоматического цикла наблюдения в схему был добавлен канал имитации сигнала от астрономического объекта. Реализован канал, содержащий кювету с реперным газом и КРТ-фотодетектором, который необходим для прецизионной стабилизации частоты лазерного излучения.

Спектральный диапазон	5.4 мкм, 7.78 мкм, 10.4 мкм
Полоса пропускания детектора	~3 ГГц (НЕВ), 850 МГц (CdHgTe)
Анализатор спектра	Цифровой FFT-спектрометр (разрешение - 76 кГц, полоса приема до 5 ГГц)
Сигнал/шум	~10 дробовых пределов ККЛ (CdHgTe) ~2 дробовых предела ККЛ (НЕВ)

**Таб.1.** Характеристики разрабатываемого прибора

Была разработана новая версия управляющего инструментом программного обеспечения (ПО), построенная на модульном принципе, что позволило ускорить работу ПО на длительных временах накопления сигнала. При помощи данного ПО на базе платформы LabView осуществляется управление отдельными элементами инструмента, оцифровка принимаемых сигналов и их последующая обработка. Это позволит проводить реальные астрономические наблюдения в автоматическом режиме.

Был продемонстрирован эффект гетеродинирования при смешении излучения АЧТ и лазерного излучения. При этом уровень ге-

теродина сигнала составлял около 10% от дробовых шумов излучения лазера. Получены результаты по наблюдению линии поглощения в гетеродинальном режиме детектирования, что является имитацией наблюдения линии поглощения в континуальном эмиссионном спектре.

Теоретическим пределом чувствительности гетеродинального спектрометра является квантовый предел, определяющийся дробовыми шумами локального осциллятора. Были экспериментально определены шумовые характеристики системы в терминах шумовой температуры. В случае использования CdHgTe-фотодетектора шумовая температура составила  $T_{\text{noise}} \approx 10^4$  К (при квантовом пределе 1845 К). Данный результат определяется высоким уровнем шумов быстродействующих CdHgTe-фотодетекторов с термоэлектрическим охлаждением и сопоставим с результатами, полученными другими группами [2]. Шумовая температура единственного на сегодня применяемого в астрономических наблюдениях гетеродинального спектрометра составляет 3000 К [3].

Стоит отметить, что одной из основных проблем, связанных с дальнейшим совершенствованием разрабатываемого гетеродинального спектрометра, является недостаточная чувствительность и высокий уровень собственных шумов используемого полупроводникового фотодетектора на основе соединения CdHgTe (КРТ-фотодетектора) компании VIGO Systems. Поскольку на сегодняшний день на рынке не существует КРТ-детекторов, обладающих низкими собственными шумами, широкой полосой приема >500 МГц и высокой чувствительностью, наша группа планирует продолжить изучение характеристик фотодетекторов среднего ИК-диапазона, работающих на иных принципах. Среди перспективных примеров нами были выделены болометры, работающие на эффекте разрушения сверхпроводящего состояния, а также фотодетекторы на основе графена и его соединений.

Нашей группой ведется изучение характеристик крио-охлаждаемых фотоэлектронных болометров на основе эффекта электронного разогрева, совмещенных со спиральными микроантеннами, настроенными на длину волны 10 мкм для повышения квантовой эффективности. Уровень шумов таких детекторов приближен к теоретическому минимуму, а полоса пропускания достигает ~5 ГГц.

Также планируется изучение свойств образцов фотодетектирующих элементов на основе графена. Поскольку графен обладает очень высокой подвижностью электронов, подобные устройства будут обладать коротким временем отклика, порядка пикосекунд. К тому же физическими свойствами фотодетектора на основе графена можно управлять с помощью напряжения на затворе, что позволяет создавать детекторы излучения, работающие в широком диапазоне частот [4-6]. Основываясь на уже полученных результатах коллег [7-9] в терагерцовом диапазоне, ожидается, что детектирование принимаемого излучения в средней ИК-области будет производиться в широкой полосе с большей частотой регистрации и чувствительностью, а также меньшими шумами в сравнении с используемыми в настоящий момент КРТ-фотодетекторами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Faist J. [et al.] Quantum cascade laser //Science. – 1994. – Т. 264. – №. 5158. – С. 553-556.
2. Weidmann D. [et al.] Hollow waveguide photomixing for quantum cascade laser heterodyne spectro-radiometry //Optics express. – 2011. – Т. 19. – №. 10. – С. 9074-9085.
3. Nakagawa H. [et al.] IR heterodyne spectrometer MILAH for continuous

- monitoring observatory of Martian and Venusian atmospheres at Mt. Haleakalā, Hawaii //Planetary and Space Science. – 2016. – T. 126. – C. 34-48.
4. Gabor N. M. et al. Hot carrier–assisted intrinsic photoresponse in graphene // Science. – 2011. – T. 334. – №. 6056. – C. 648-652.
  5. Yan J. et al. Dual-gated bilayer graphene hot-electron bolometer //Nature nanotechnology. – 2012. – T. 7. – №. 7. – C. 472.
  6. Cai X. et al. Sensitive room-temperature terahertz detection via the photothermoelectric effect in graphene //Nature nanotechnology. – 2014. – T. 9. – №. 10. – C. 814.
  7. Ryzhii V. et al. TERAHERTZ AND INFRARED PHOTODETECTORS BASED ON VERTICAL GRAPHENE VAN DER WAALS HETEROSTRUCTURES: CONCEPTS, FEATURES OF OPERATION AND CHARACTERISTICS // Physics, Chemistry And Application Of Nanostructures: Reviews And Short Notes To Nanomeeting-2017. – 2017. – C. 159-167.
  8. Ryzhii V. et al. Infrared photodetectors based on graphene van der Waals heterostructures //Infrared Physics & Technology. – 2017. – T. 84. – C. 72-81.
  9. Bylinkin A. et al. Experimental study of graphene-based plasmonic crystals in a strong-coupling regime //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2018. – T. 1092. – №. 1. – C. 012017.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ ДАЛЬНОСТИ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ЗНАЧЕНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПЛОТНОСТИ НАБЛЮДЕНИЙ ВО ВРЕМЕННОМ РЯДУ

**Т.С. Миклашевич, С.А. Барталев**

*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
limires@d902.iki.rssi.ru*

**Научный руководитель: Барталев С.А., д.т.н.**

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

Накопленный за последние десятилетия объем космических наблюдений позволяет использовать длинные многолетние ряды для решения задач дистанционного зондирования Земли. В рамках предварительной обработки изображений в ИКИ РАН разработан и широко апробирован алгоритм заполнения пропущенных данных, фильтрации выбросов и сглаживания временных рядов данных спутникового наблюдения. Алгоритм включает в себя интерполяцию и экстраполяцию наблюдаемых величин путем полиномиальной аппроксимации в скользящем окне переменного размера.

В результате сглаживания временного ряда при достаточном объеме измерений становится возможным достоверно восстановить яркость исследуемых объектов в периоды отсутствия наблюдения.

В настоящее время объемы исходных данных и мощности вычислительной аппаратуры позволяют обрабатывать длинные временные ряды, не ограничивая их рамками календарного года. При этом обостряется проблема определения дальности достоверного прогноза при естественном сезонном падении плотности данных.

В работе представлено описание метода определения допустимой дальности экстраполяции значений, основанного на анализе динамики плотности данных во временном ряду. Метод позволяет развить существующие алгоритмы предварительной обработки временных рядов, выходя за рамки анализа вегетационного сезона, без привязки к конкретным исследуемым величинам и индексам.

# ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖЗВЕЗДНОЙ ПЫЛИ В ГЕЛИОСФЕРЕ

**А.В. Мищенко, В.В. Измоденов**

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
litergo@icloud.com*

В настоящей работе изучается взаимодействие заряженных частиц межзвездной пыли с межпланетным магнитным полем в гелиосфере. Целью данного исследования является поиск особенностей в распределении межзвездной пыли, т.е. областей повышенной концентрации. Найденные области в полной постановке могут быть использованы при будущих экспериментальных исследованиях межзвездной пыли в гелиосфере. Математическая постановка задачи формулируется в размерном и безразмерном виде. Проводится анализ возникающих при этом безразмерных параметров. Для выявления особенностей, которые возникают из-за действия электромагнитных сил, используется упрощенная постановка задачи без учета сил гравитационного притяжения и радиационного отталкивания. Представляется численное решение поставленной задачи методом Осипцова-Лагранжа. Метод Осипцова-Лагранжа основан на решении уравнения неразрывности в лагранжевой форме вдоль траекторий частиц пыли. Вычисления проводились для разных безразмерных параметров, которые зависят от радиуса частиц пыли. Предложенный метод решения задачи может быть обобщен на случай произвольной астросферы.

# СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ, ОБЗОРА И ПОИСКА НАУЧНЫХ ДАННЫХ

**А.А. Мищенко, Ф.В. Коротков, О.В. Батанов, В.Н. Назаров**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

**Научный руководитель: Коротков Ф.В.**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН)*

Любая научная космическая миссия ставит своей главной целью получение научных данных. Именно эффективность работы с данными и определяет, в основном, быстроту и успешность совершаемых научных открытий. Поэтому в современном научном сообществе так остро стоит вопрос выбора качественного инструмента для работы с данными.

В рамках совместного российско-европейского проекта «ЭкзоМарс 2016» была разработана эффективная система хранения, обзора и поиска данных, поступающих с космического аппарата. Система базируется на международном стандарте хранения научных данных PDS4. В докладе рассмотрены возможности, которые предоставляет данный стандарт. Так как стандарт не подразумевает привязки к конкретному проекту, система может быть как расширена, так и продублирована на другие научные космические проекты.

Но основным назначением разработанной системы является удобное предоставление данных пользователю. За счет выполнения большого количества скрытых от пользователя предварительных действий по поиску, индексации и агрегации данных, работа пользователя непосредственно с системой становится быстрой и удобной. С помощью списка предустановленных и настраиваемых фильтров пользователь может эффективно осуществлять поиск и получение интересующей его информации. Широкий спектр настроек позволяет сделать представление результатов максимально удобным для конкретного пользователя.

Основная часть доклада посвящена рассмотрению и раскрытию возможностей системы хранения, обзора и поиска данных на примере архива по проекту «ЭкзоМарс 2016».

# СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ СЕАНСОВ РОССИЙСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИЁМА НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

**А.А. Мищенко, Я.И. Марков, В.Н. Назаров**

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

*Научный руководитель: Марков Я.И.*

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

Российский комплекс Приёма Научной Информации (далее РКПНИ) представляет собой комплекс аппаратно-программных средств, обеспечивающих приём научной информации с борта космического аппарата (КА). РКПНИ поддерживает планирование, подготовку и проведение сеансов, баллистическую поддержку проводимых сеансов, а также передачу полученной информации. Так как РКПНИ территориально распределён по нескольким площадкам, в нём предусмотрена система связи, поддерживающая телефонные и видео конференции, в том числе и с пользователями.

В данном докладе рассмотрен один из ключевых элементов РКПНИ – система планирования сеансов. Система основана на рекомендациях Международного Консультативного Комитета по космическим системам передачи данных (CCSDS). Она является легко масштабируемой и может поддерживать множество пользователей, несколько станций по приёму научной информации, несколько КА. Система так же поддерживает планирование ремонтных работ на станциях приёма научной информации.

Данный доклад содержит описание возможностей системы планирования сеансов, непосредственно процесс планирования на конкретном примере и взаимодействие с другими элементами РКПНИ.

# ПРОДЛЁННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В КРИВЫХ БЛЕСКА КОСМИЧЕСКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОМ SPI-ACS INTEGRAL

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

<sup>1</sup>*Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, Россия, georgiy99@bk.ru*

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

**Научный руководитель: Минаев П.Ю., к.ф.-м.н.**

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

Космические гамма-всплески – одни из самых мощных катастроф во Вселенной. Открытые в 1967[1] г., они до сих пор не нашли всеобъемлющего объяснения. Одной из загадок гамма-всплесков является продленное излучение в гамма-диапазоне, наблюдающееся после завершения активной фазы всплеска. Цель работы состоит в поиске и исследовании продленного излучения, как для определения феноменологии явления, так и для выяснения его природы – возможной связи с продолжающейся активностью центральной машины всплеска, либо с началом пассивной фазы (послесвечения).

В работе мы используем данные эксперимента SPI-ACS/INTEGRAL ввиду отличной стабильности фона на больших временных масштабах (тысячи секунд), связанной с высокой орбитой обсерватории. Для поиска продленного излучения используется алгоритм суммирования потока в соседних временных интервалах до достижения определённого уровня статистической значимости. По полученной кривой блеска мы определяем характер зависимости потока от времени для продленного излучения (степенной или экспоненциальной), параметры соответствующей модельной кривой, в т.ч. длительность.

По выборке из 76 наиболее ярких событий эксперимента SPI-ACS, зарегистрированных за 2002-17 гг., можно сказать, что продленное излучение присутствует у 70% всплесков, длительность варьируется в широких пределах от 10 с до 2000 с. Форма кривой блеска – степенная с показателем  $\alpha \sim -1$ . Это свидетельствует в пользу гипотезы о том, что продленное излучение является общим свойством всех гамма-всплесков и, вероятно, связано с началом пассивной фазы (послесвечения).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Klebesadel R.W. [et al.], Observations of Gamma-Ray Bursts of Cosmic Origin // The Astrophysical Journal, 182:L85-L88, 1973 June 1

# ЗНАКОМЬТЕСЬ, ПРОФЕССОР ЧИЖЕВСКИЙ!

**Л.Н. Морозова**

*Государственный музей истории космонавтики  
им. К.Э. Циолковского, отдел «Дом-музей А.Л. Чижевского»,  
Калуга, Россия, l morozova@gmik.ru*

Александр Леонидович Чижевский – биофизик, основоположник гелиобиологии, аэроионологии, электрогемодинамики, философ-космист, изобретатель, поэт и художник.

Становление учёного-Чижевского произошло в Калуге. Исследуя влияние искусственно ионизированного воздуха на здоровье лабораторных крыс, он закладывает основы аэроионологии.

Выдвинув гипотезу о влиянии солнечной активности на ход исторических событий, он пишет докторскую диссертацию «О периодичности всемирно-исторического процесса». Защищает её в Московском университете и становится доктором всеобщей истории.

В Калуге он знакомится с К.Э. Циолковским. По просьбе Константина Эдуардовича в 1926 году Чижевский проводит опыты по изучению влияния пенетрантной радиации, как тогда называли космическую радиацию, на живую клетку.

Собрав статистический материал об эпидемиях, Чижевский показал их тесную связь с периодической деятельностью Солнца. В опубликованной в 1930 г. книге «Эпидемические катастрофы и периодическая деятельность Солнца» учёный выступил с новой концепцией возможности прогнозирования эпидемий.

В 1931 году ему поручено создать и возглавить Центральную научно-исследовательскую лабораторию ионификации, которая проработала до 1936 г.

В 1938 году Чижевского приглашают на работу в качестве научного консультанта по ионизации воздуха в Управление строительством Дворца Советов.

Летом 1941 г., находясь в эвакуации в Челябинске, Чижевский арестован, и по обвинению в антисоветской агитации приговорен к 8 годам заключения в ИТЛ.

В лаборатории ГУЛАГа учёный заложил основы нового направления в гематологии, названного им электрогемодинамикой.

В 1950 году учёный освобождён из лагеря, местом ссылки и поселения ему была определена Караганда, где он продолжает работы в области аэроионологии и гематологии.

В Москву Александр Леонидович переезжает в 1958 году. В это время учёный пишет множество статей об аэроионизации, гелиобиологии и электрогемодинамике.

В 1962 году Чижевский отходит от активной научно-производственной деятельности по болезни, и в эти годы пишет мемуары.

Не стало Александра Леонидовича в 1964 году.

# СИСТЕМА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ДЛЯ СХОДА НАНОСПУТНИКОВ CUBESAT С НИЗКИХ ОКОЛОЗЕМНЫХ ОРБИТ

И.В. Москатиньев, К.П. Пичхадзе, В.К. Сысоев,  
С.О. Фирсюк, А.Д. Юдин

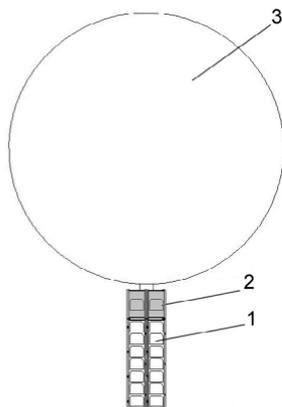
АО «НПО им. С.А. Лавочкина», Москва, Россия  
Московский авиационный институт, Москва, Россия

Нарастающая сегодня тенденция к миниатюризации космических аппаратов (КА) и использованию группировок малых спутников вместо одного большого усугубляет проблему, увеличивая число объектов в околоземном космическом пространстве. Разработка технологий «деорбитинга» – увода исчерпавших ресурс КА с орбиты – становится весьма актуальной и востребованной задачей. В силу остроты проблемы космического мусора можно предположить, что в ближайшие годы требование оснащать все малые КА системами увода с орбиты станет одной из норм международного космического права и войдет в стандарты деятельности космических агентств всех стран мира.

Из всех вариантов увода с орбиты отработавших наноспутников наиболее часто рассматривается технология аэродинамического торможения, которое создается с помощью разворачиваемых устройств в космосе необходимого сечения.

Технология предполагает дополнительную установку на космический аппарат автономной системы, состоящей из одного отсека, содержащего приборный блок и блок с раскрывающейся тонкопленочной оболочкой в виде надувного устройства. Приборный блок обеспечивает раскрытие аэротормозного устройства, контроль параметров КА.

Мы предлагаем создать в одном юните стандарта Cubesat автономное устройство для атмосферного торможения космического аппарата Cubesat с простой, надежной системой раскрытия аэротормозного элемента, в виде надувного устройства, после того как спутник закончил свою эксплуатацию или при нештатной ситуации. Таким образом, можно будет оснастить любую комбинацию юнитов наноспутников Cubesat аэродинамическим устройством торможения, как показано на рис.1.



1 – КА стандарта Cubesat, 2 – автономное устройство для торможения КА, 3 – тормозной элемент в виде надувной оболочки

**Рис.1.** Система пассивного торможения наноспутника стандарта Cubesat

При использовании такого пассивного средства торможения спуск наноспутника с орбиты массой 3÷5 кг составит порядка 10 дней вместо двух лет естественного схода с орбиты.

# УСТАНОВКА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПРОДОЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ С ЭНЕРГИЕЙ ВЫШЕ $10^{16}$ ЭВ

**В.П. Мохначевская, С.П. Кнуренко**  
*ИКФИА СО РАН, Россия, valyamokh@yandex.ru*

**Научный руководитель: Слепцов И.Е., д.ф.-м.н.**  
*ИКФИА СО РАН*

Якутская комплексная установка широких атмосферных ливней расположена в долине реки Лены (Республика Саха) и представляет собой стационарный научно-исследовательский полигон для исследования космических лучей сверхвысоких энергий. Якутская установка ШАЛ занимает площадь  $12 \text{ км}^2$ , на которой детекторы на основе пластических сцинтилляторов толщиной 5 см и площадью  $2 \text{ м}^2$  каждый расположены по углам треугольника со сторонами 500 м, 1000 м. Такое расположение детекторов обусловлено тем, что космические лучи образуют лавинообразный процесс при прохождении атмосферы, сталкиваясь с ядрами атомов воздуха, и на поверхности земли охватывают большие площади. В центре установки имеются аналогичные станции с раздвигениями от 50 до 250 м, которые дополнены приемниками черенковского излучения ШАЛ (черенковские интегральные детекторы). На расстоянии 500 м от центра установки работают 3 мюонных детектора с площадью  $20 \text{ м}^2$  каждый, а в центре установки расположен большой мюонный детектор с площадью  $200 \text{ м}^2$ . А также введены в эксплуатацию 3 черенковских дифференциальных детектора на основе камеры обскура для исследования продольного развития ШАЛ. В данной работе приводится подробное описание этих 3 черенковских дифференциальных детекторов. Представлены результаты прямых наблюдений каскадной кривой индивидуальных событий ШАЛ с энергией выше  $10^{16}$  эВ. Также проанализированы данные по глубине максимума  $X_{\text{max}}$  развития ШАЛ, которые сравниваются с разными моделями адронных взаимодействий, выполненными для первичного протона и ядра железа.

# СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ РУСЛА ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ АМУДАРЬИ И ЕЁ ПРИТОКОВ

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

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

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

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

*ФГБУН Институт космических исследований*

*Российской академии наук (ИКИ РАН),*

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

В настоящее время спутниковый мониторинг трансграничных вод Амударьи является весьма актуальной задачей. Поскольку река является самой полноводной в Центральной Азии и главной водной артерией южных стран региона, Амударья играет огромную роль в обеспечении территории пресной водой для потребления её населением и в целях орошения сельскохозяйственных земель. Амударья имеет преимущественно ледниково-снеговое питание и получается в результате слияния двух больших рек, Вахша и Пянджа.

При организации мониторинга и анализе водообразующих факторов учитывалось географическое расположение объектов и наличие каскада, построенного непосредственно на реке Вахш (Вахшский каскад). В построении ряда наблюдений для водохранилищ каскада использовалась схема выделения водного зеркала на основе кластеризации спутниковых изображений сканирующих систем OLI-TIRS, MSI, PROBA-V. Исследования русловых процессов были основаны на анализе ширины русла рек в местах сезонного разлива и обмеления. Обработывались данные ETM+, OLI-TIRS, MSI. Измерения проводились в среднем не реже двух раз в месяц в фиксированных точках.

Полученные измерения показали, что наиболее заметная динамика и некоторая корреляция с шириной русла реки Вахш наблюдается в основном в связи с изменчивостью площади водного зеркала Нурекского водохранилища, самого большого на каскаде. Тем не менее, больший вклад на формирование водного зеркала русла Амударьи, оказывает река Пяндж, 42,6% (Рахимов и др. 2014). Статистика была собрана за 2014, 2016, 2017 и 2018 года.

Также была проведена обработка данных по количеству выпавших осадков в пределах границ водосбора рек Вахш, Пяндж и верхнего течения Амударьи. Данные были получены при помощи сервиса Vega-Science (<http://sci-vega.ru>) на основе модели NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Для этого были взяты оцифрованные границы водосбора рек и получены показатели в каждом узле сетки модели, попавшем в пределы границы. Нормированные на максимум в году итоговые показатели также были организованы в виде результирующей диаграммы. Такой подход позволяет оценить межсезонную динамику объектов.

Представленная методика анализа является промежуточным этапом в решении задачи определения ключевого фактора динамики русла рек Амударьи и её притоков. Для анализа спутниковых данных при выполнении исследования использовались инструменты анализа данных, предоставляемые системой Vega-Science (Лупян

и др. 2011), входящей в состав центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др. 2015).

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Рахимов С., Камолидинов А. От Арала до Рогуна: современная водохозяйственная обстановка в бассейне Амударьи // Центральная Азия и Кавказ. 2014. Т. 17. №. 1. С. 177-195.
2. Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190-198.
3. Е.А. Лупян, А.А. Прошин, М.А. Бурцев, И.В. Балашов, С.А. Барталев, В.Ю. Ефремов, А.В. Кашницкий, А.А. Мазуров, А.М. Матвеев, О.А. Суднева, И.Г. Сычугов, В.А. Толпин, И.А. Уваров Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015. Т.12. № 5. С. 247-267.

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С РАЗЛИВОМ РЕК В СЕЗОН ТАЙФУНОВ ВО ВЬЕТНАМЕ

**Нгуен Тхань Доан**

*Московский государственный университет геодезии  
и картографии, Москва, Россия, jindo9a1@gmail.com*

**Научный руководитель: Грузинов В.С., доц.**

*Московский государственный университет геодезии  
и картографии*

Доклад посвящен проблеме мониторинга чрезвычайных ситуаций, связанных с разливом рек в сезон тайфунов. Эта проблема актуальна для Вьетнама и многих других стран, расположенных в Восточно-приокеаническом регионе тропического климатического пояса. Согласно статистике, на страну каждый год обрушивается в среднем 6-7 тайфунов. Тайфуны сопровождаются опасными погодными ситуациями, такими как сильный ветер, сильный дождь, торнадо и т.д. Проливные дожди после тайфуна часто вызывают наводнения, наносящие большие материальные и человеческие ущербы.

В докладе предложена оценка фактического состояния мониторинга наводнений с использованием спутниковых снимков. При этом были рассмотрены и сравнены оптические и радиолокационные системы и методы определения затопленных территорий.

В докладе также представлена методика моделирования процессов формирования стока по данным ДЗЗ. При этом представлен способ определения параметров речной системы в ее бассейне с использованием цифровой модели рельефа и математическая основа метода моделирования процессов формирования стока.

Были представлены недостатки метода космического мониторинга чрезвычайных ситуаций, связанных с разливом рек в сезон тайфунов и необходимость использования космических данных в сочетании с данными моделирования наводнений для создания системы геоинформационного мониторинга в комплекте с 3 функциями: наблюдение, прогноз и управление.

В докладе представлена апробация методики геоинформационного мониторинга чрезвычайных ситуаций, связанных с разливом рек в сезон тайфунов во Вьетнаме, на основе применения средств дистанционного зондирования Земли из космоса (радиолокационные изображения Sentinel 1) в сочетании с геоинформационными и телекоммуникационными технологиями для оперативной оценки состояния водных ресурсов, а также планирования и управления мероприятиями, направленными на минимизацию опасных последствий.

В рамках работы были использованы следующее программное обеспечение: HEC-HMS, HEC-RAS, ArcGIS, QGIS, SNAP (Sentinel Toolbox) и Geocloud 2.

# ПОСТРОЕНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ И ФОРМУЛИРОВАНИЕ НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ ПО РАЗРАБОТКЕ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ НОВОГО ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА

**В.В. Некрасов, В.Д. Бабишин, К.А. Соседко**

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

**Научный руководитель: Бабишин В.Д., д.т.н.**

АО «Корпорация «ВНИИЭМ»

Появление радиационно-стойкой микроконтроллерной техники открыло новые возможности в управлении двигателем-маховиком (ДМ), и, следовательно, космическим аппаратом. Отсутствие импортонезависимого ДМ, обладающего передовыми возможностями по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами, в АО «Корпорация «ВНИИЭМ» создало необходимость разработки нового поколения ДМ с цифровым микроконтроллерным управлением (ДМ-МК).

В процессе создания нового ДМ-МК были определены следующие решаемые задачи:

- разработка схемы микроконтроллерного управления ДМ с организацией обратной связи по скорости вращения ротора ДМ;
- разработка алгоритма управления ДМ в режимах: управления величиной крутящего момента; управления величиной скорости

Управляющий момент, мНм	1000
Кинетический момент, Нмс	$\pm 10$
Диапазон изменения частоты вращения, об/мин	$\pm 2600$
Максимальный потребляемый ток, А	10
Число импульсов на оборот, N	1360
Масса, кг	8
Напряжение питания, В	24...34
Тип ОЗВМ, используемой в МКМ	1880BE81У
Такт общения с БКУ КА, мс	125
Срок службы, не менее, лет	12
Допустимое отклонение частоты вращения ротора в режиме управления по скорости	
При неизменной заданной частоте, не более об/мин	1
При темпе изменения заданной частоты не более 1000 об/мин <sup>2</sup> , не более об/мин	1
При темпе изменения заданной частоты вращения в диапазоне от 1000 до 8000 об/мин <sup>2</sup> , не более об/мин	1

вращения ротора ДМ; управление в случае нештатной потери связи с бортовым комплексом управления (БКУ);

- разработка программного обеспечения, позволяющего обеспечить: прием и логическую обработку сигналов с электромеханического блока (ЭМБ); формирование сигналов управления ЭМБ; прием и логическую обработку сигналов с БКУ по мультиплексному каналу обмена (МКО); формирование телеметрической информации для передачи по МКО в БКУ.

В процессе разработки был создан макет ДМ-МК. Полученные результаты испытаний подтвердили выполнение поставленных задач и соответствуют ожидаемым характеристикам, создаваемого ДМ-МК. Внедрение создаваемого двигателя маховика с цифровым микроконтроллерным управлением планируется в 2019 году.

По итогам проделанной работы построена концептуальная модель решения задачи и сделаны выводы о приемлемости решения, но не максимизирующего, поэтому определены более жесткие требования к ДМ-МК, и сформулирована следующая научная задача: основные технические характеристики ДМ-МК (см. таблицу 1).

Дано: таблица 1 – Основные технические характеристики ДМ-МК

Найти: функцию управления ДМ-МК в режиме заданной скорости.

# СОЗДАНИЕ БЫСТРЫХ ПРОЦЕДУР ПРОСТРАНСТВЕННОЙ АННОТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

В.П. Нефёдов<sup>1</sup>, И.В. Балашов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский Государственный Университет  
имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

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

Российская Федерация богата своими лесами. И одной из важнейших целей является контроль за использованием и состоянием лесных ресурсов. Среди проблем, характерных для лесного хозяйства, можно отметить контроль за вырубками (в том числе и незаконными), лесные пожары и др. Мониторинг таких событий позволяет как оперативно реагировать на те или иные изменения в состоянии лесов, так и производить их оценку: площадей, видового состава и объёма вырубленного лес, оценивать пройденные огнем площади и потенциальный ущерб. Дистанционное зондирование Земли из космоса позволило существенно облегчить наблюдение и контроль состояния растительности. Для решения таких задач в ИКИ РАН созданы и эксплуатируются разнообразные системы и сервисы спутникового мониторинга, в частности, «ИСДМ-Рослесхоз» (Барталев, Ершов, Коровин и др., 2010) и «Вега» (Лупян, Савин, Барталев и др., 2011).

Преобразованные блоками тематической обработки пространственные данные о наблюдаемых объектах мониторинга хранятся в базах данных отмеченных выше систем в виде геометрических объектов — полигонов. Проведя анализ таких полигонов, можно получить информацию о, например, площади вырубленного участка леса или пожара, их местоположении, вхождении в состав того или иного субъекта государства, типов растительности, которую охватывают этот полигоны. Процесс получения такой информации называется пространственной аннотацией (Лупян, Прошин, Бурцев и др., 2015). Производительность алгоритма пространственной аннотации напрямую влияет на способность систем в приемлемое время получать необходимые характеристики объектов. Сильное снижение производительности пространственной аннотации объектов при росте их геометрической сложности является актуальной проблемой применяемых в настоящее время алгоритмов.

Данная работа посвящена разработке блока быстрой пространственной аннотации растровых объектов. Первая часть работы посвящена обзору технических средств для работы с геоданными в векторном формате, в том числе встроенных средств СУБД для этих целей. Затем рассмотрены специализированные средства по работе с геопространственными данными в растровом формате. На основе проведенного анализа быстродействия этих средств была отмечена более высокая производительность операций над объектами, проводимых в растровом формате. Для реализации такого подхода к проведению пространственной аннотации была разработана программа, осуществляющая аннотацию предоставленного на вход растрированного полигона объекта мониторинга. Программа реализована с поддержкой необходимых требований, среди которых валидация входных данных и расчёт статистики в выбранной проекции. Модуль использует параллельную обработку данных для обеспечения оптимальной производительности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е. Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (ИСДМ Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т.7. № 2. С.97-105.
2. Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190-198.
3. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.

# СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ КОРОНАЛЬНЫХ ПЕТЕЛЬ ПО ДАННЫМ AIA/SDO ЗА 24-ЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ЦИКЛ

**А.Б. Нечаева<sup>1</sup>, И.В. Зимовец<sup>1</sup>, В.М. Накаряков<sup>2,3</sup>, С. Goddard<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup> *Centre for Fusion, Space and Astrophysics, Department of Physics  
University of Warwick, UK*

<sup>3</sup> *СПб САО РАН, Санкт-Петербург, Россия*

**Научный руководитель: Зимовец И.В., к.ф.м.н.**

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

В докладе представлен каталог изгибных осцилляций солнечных корональных петель, покрывающий почти весь 24 солнечный цикл. Каталог основан на наблюдениях SDO/AIA в канале 171Å и включает в себя параметры 223 осцилляций в 96 событиях. Каталог предоставляет информацию о координатах осциллирующих петель, времени и дате событий, связанных с ними вспышками, начальном отклонении, периоде, времени экспоненциального затухания и видимой амплитуде осцилляций. Большинство осцилляций (84%) наблюдаются в петлях рядом или вне солнечного лимба. Длины осциллирующих петель от 70 до 600 Мм. Примерно 90% осцилляций имеют видимую амплитуду в диапазоне от 1 до 10 Мм. Типичная наблюдаемая амплитуда составляет примерно 1% от длины петли. Периоды осцилляций варьируются от 1 до 28 минут, 74% событий имеют период от 2 до 10 минут. Период осцилляций пропорционален длине петель, и время затухания пропорционально периоду осцилляций, что подтверждает результаты предыдущих работ, основанных на анализе значительно меньшего количества событий. Добротность осцилляций пропорциональна амплитуде в степени -0.7. Исследована связь между параметрами осциллирующих петель и индексами солнечной активности - среднемесячными числами солнечных пятен, вспышек и корональных выбросов массы (ВМ). Каталог предоставляет научному сообществу базу для дальнейшего анализа изгибных колебаний и его использования для корональной сейсмологии.

Работа выполнена в рамках проекта "Сейсмология активных областей солнечной короны" программы Institutional Links Британского Совета.

# ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ДРОНОВ

**Ю.Б. Блохинов, В.А. Горбачев, А.Д. Никитин**  
*ФГУП «ГосНИИАС», Москва, Россия*

Техническая эксплуатация ряда наземных объектов предусматривает регулярное проведение визуального осмотра поверхности объектов для получения сведений о наличии повреждений поверхности, особенно в труднодоступных местах. Осмотр такого рода, как правило, требует привлечения большого числа специалистов и тяжелой техники и связан со значительными временными потерями эксплуатирующих компаний. Автоматизация процесса с помощью программируемых беспилотников позволит существенно сократить время осмотра наземных объектов.

В работе решается задача обнаружения повреждений поверхности труднодоступных объектов. В качестве метода детектирования выбран алгоритм на основе глубоких свёрточных искусственных нейронных сетей. Подобные алгоритмы показывают наилучшие результаты в задачах детектирования. Выбранный метод модифицирован и адаптирован под задачу обнаружения повреждений поверхности труднодоступного объекта. Описываются технические решения, осуществляющие создание коллекции синтезированных изображений для обучения и тестирования выбранного метода детектирования, а также методика тестирования. Исследуются аспекты применения дронов и особенности съёмки с дронов на реальном наземном объекте.

Разработанные алгоритмы могут быть использованы в рамках технологии автоматизированной системы визуального контроля поверхности наземных объектов с целью обнаружения повреждений с помощью мини-беспилотных летательных аппаратов с установленной на них камерой. Продемонстрирована высокая точность данного метода на синтезированных тестовых данных. Показана эффективность метода на реальных данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-08-00191 а).

# НЕЙТРОННЫЙ ДЕТЕКТОР АДРОН-РМ ДЛЯ МИССИИ ЭКЗОМАРС-2020

**С.Ю. Никифоров, И.Г. Митрофанов, М.Л. Литвак, А.А. Аникин, Д.В. Головин, М.В. Дьячкова, А.С. Козырев, Д.И. Лисов, А.В. Малахов, М.И. Мокроусов, А.Б. Санин, В.И. Третьяков**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
nikiforov@np.cosmos.ru*

**Научный руководитель: Митрофанов И.Г., д.ф.-м.н.**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН)*

ЭкзоМарс – совместная российско-европейская миссия по исследованию красной планеты. После запуска в 2020 году на поверхность Марса планируется доставить два спускаемых аппарата: европейский марсоход и российскую посадочную платформу.

Нейтронный детектор Адрон-РМ, который планируется установить на борт европейского ровера, позволит провести анализ водородной компоненты (представленной как связанная вода, водяной лед или молекулы  $\text{OH}$  ( $\text{H}_2\text{O}$ ) в гидратированных минералах) в верхнем слое поверхности Марса. Полное описание целей и методов проведения эксперимента будет представлено в докладе.

Нейтронное зондирование марсианской поверхности впервые было успешно проведено экспериментом ДАН, установленном на борту Марсианской Научной Лаборатории НАСА. Основываясь на последних полученных результатах с прибора, присутствует серьезная корреляция между данными, полученными по средствам потока нейтронов космических лучей, и по измерениям при помощи нейтронного генератора, установленного на борту марсохода.

Нейтронный детектор состоит из двух пропорциональных счётчиков, наполненных  $^3\text{He}$ , один из которых имеет кадмиевую защиту для исключения потока нейтронов с низкой энергией. Параллельное измерение потока нейтронов в тепловом и эпитепловом диапазоне позволяет проводить оценку подповерхностной структуры марсианского грунта в районе движения марсохода. По оценке водородной компоненты в разных точках движения можно будет получить процентное значение среднего содержания воды в районе посадки миссии. Другой важной задачей является работа в тесной связи с другими приборами, установленными на марсоходе, в целях выбора наиболее оптимального места для проведения эксперимента по бурению грунта.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО СПЕКТРА РЕНТГЕНОВСКОЙ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ M33 X-6 ПО ДАННЫМ NUSTAR И SWIFT-XRT

**С.М. Николаева<sup>1,2</sup>, Р.А. Кривонос<sup>1</sup>, С.Ю. Сазонов<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>*Московский Физико-Технический Институт, Москва, Россия*

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

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

Мы представляем результаты анализа широкополосного спектра двойной рентгеновской системы M33 X-6 по данным орбитальных обсерваторий NuSTAR и Swift-XRT. Благодаря программе «Обзор наследия» близких галактик телескопа NuSTAR впервые была предоставлена возможность получить качественные данные на энергиях выше 10 кэВ. Для энергий ниже 3 кэВ были использованы архивные данные Swift-XRT. Спектр источника хорошо описывается моделью геометрически и оптически толстого аккреционного диска с максимальной температурой  $\sim 2$ кэВ и внутренним радиусом  $\sim 5 \cos^{0.5}\Theta$  км, что дает возможность быть компактным объектом нейтронной звездой. Также болометрическая светимость в диапазоне 0.3-20 кэВ составляет  $2 \cdot 10^{38}$  эрг/с, в жестком диапазоне 10-20 кэВ светимость составляет  $\sim 10\%$  от полной светимости. X-6, возможно, является источником Z-типа — рентгеновской двойной системой, в которой происходит околоскоростная аккреция на слабозамагниченную нейтронную звезду.

# **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ И СПОСОБОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРОБ РЕГОЛИТА ПРИ СОЗДАНИИ ГРУНТОЗАБОРНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ БУДУЩИХ ЛУННЫХ МИССИЙ**

**А.В. Носов**

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

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

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

В рамках готовящихся посадочных миссий на Луну, предназначенных для проведения научных исследований, создаются специальные научные комплексы для изучения поверхностного слоя – лунного реголита. Его детальное изучение необходимо для подтверждения гипотез о свойствах лунной поверхности, полученных на основе данных с орбитальных аппаратов.

Неотъемлемой частью таких комплексов выступают грунтозаборные устройства (ГЗУ), основная цель которых – это извлечение проб реголита и передача их в анализирующие или капсулирующие устройства. В рамках планируемых миссий наиболее востребованным является криогенное глубинное бурение, обеспечивающее изъятие проб с глубин более полуметра с сохранением летучих веществ и стратификации. Такие ГЗУ уже разрабатываются российскими и зарубежными космическими агентствами.

В рамках существующих и планируемых миссий необходимо рассмотреть наиболее перспективные и компактные компоновки ГЗУ, отвечающие требованиям внешних условий и условиям размещения на борту космических аппаратов. Детальное изучение влияния тех или иных составных узлов ГЗУ на процесс бурения позволит выбрать наиболее компактное, менее энергозатратное и надежное компоновочное решение. Оптимизация компоновки и возможность создания модульного ГЗУ позволит создать конструкцию, адаптируемую для различных целей тех или иных космических миссий, включая как посадочные станции, так и луноходы.

Систематизация и выявление преимуществ и недостатков того или иного способа бурения в лунных условиях необходима для проработки и создания нескольких вариантов буровых инструментов, наиболее ответственной части любого ГЗУ. Именно взаимодействие бурового наконечника с реголитом во многом определяет успешное взятие проб.

Для создания буровых инструментов с заданными свойствами необходимы лабораторные отработки в условиях, приближенных к лунным. Приближение внешних условий, таких как температура и давление, возможно с применением специальных термовакуумных камер. Еще одним ключевым фактором является разработка и использование модели лунного грунта, имитирующей свойства лунного грунта в предполагаемых местах посадки космического аппарата.

В нашей работе рассмотрены и отобраны различные конструктивные и технологические решения компоновки ГЗУ, направленные

на снижение потребления и габаритно-массовых характеристик, но при этом обеспечивающие основные научные требования по минимальному тепловому воздействию на отбираемую пробу грунта и реализацию многократного отбора проб грунта с разной глубины.

# **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ТОЧНОЙ ДОПРИВЯЗКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК**

**Е.В. Овсянникова**

*Московский Государственный Университет*

*им. М.В. Ломоносова, факультет космических исследований,  
Москва, Россия, ev.ovsyannikova@students.cosmos.msu.ru*

**Научный руководитель: Бурцев М.А., к. т. н.**

*ФГБУН Институт космических исследований Российской  
академии наук (ИКИ РАН), отдел «Технологии спутникового  
мониторинга»*

В данной работе рассматривается способ разработки программного модуля точной допривязки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). По имеющимся снимкам высокого разрешения, которые в данном случае являются опорными и содержат информацию о точной географической привязке в своих метаданных, корректируется уже имеющаяся информация о географической привязке у снимков, сделанных космонавтами с международной космической станции (МКС) того же участка земной поверхности.

Для этого используется алгоритм нахождения контрольных точек на обоих снимках, сделанных со спутника и с МКС. В основе этого алгоритма лежит метод, который преобразовывает данные об изображении в инвариантно масштабируемые координаты, которые описывают локальные свойства объекта на изображении. Таким образом, он позволяет находить одинаковые объекты (контрольные точки) на двух разных изображениях.

Затем для каждой найденной контрольной точки вычисляется локальный инвариантный дескриптор. Происходит сопоставление дескрипторов двух изображений и находится проекционная матрица для сопоставления двух изображений. Если проекционная матрица нашлась, значит, два изображения можно совместить и можно использовать информацию о координатах пар соответствующих контрольных точек. По информации о точной географической привязке снимка со спутника, координатах пар соответствующих контрольных точек на снимках, находится точная привязка для снимка с МКС.

# МЕХАНИЗМ ДИНАМО В АККРЕЦИОННОМ ДИСКЕ В ПЛАНАРНОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

**М.В. Пашенцева<sup>1</sup>, Е.А. Михайлов<sup>1</sup>, Д.В. Бонева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия,  
marusya\_pashenceva@mail.ru*

<sup>2</sup>*Институт космических исследований и технологий, БАН,  
София, Болгария*

Аккреционные диски, образующиеся около массивных объектов, представляют интерес с точки зрения изучения магнитных полей. Согласно классическим работам [Shakura & Sunyaev 1973] магнитные поля могут играть существенную роль при объяснении различных процессов, таких как, например, перенос момента импульса в аккреционном диске. Стоит ожидать, что рост магнитных полей может объясняться с помощью механизма динамо – качественно схожего с тем, который работает в галактиках, звездах и т.д. [Соколов и др. 2014]. В настоящее время существует ряд работ, посвященных моделированию магнитных полей в подобных объектах. Тем не менее, имеет смысл рассмотреть данный процесс с точки зрения простых динамо-моделей, таких как планарное приближение, хорошо зарекомендовавших себя при изучении действия динамо в галактиках [Mestel & Subramanian 1993], внешних кольцах галактик [Moss et al. 2016a] и т.д. Данную модель можно также использовать при изучении магнитных полей в аккреционных дисках, образующихся около белых карликов в двойных системах [Moss et al 2016b].

Особый интерес представляет моделирование магнитных полей с диском с относительно большим внутренним радиусом. Мы используем в нашей работе стандартное представление о свойствах крупномасштабных движений и турбулентности в аккреционных дисках. На основании этого мы вычисляем управляющие параметры динамо [Mestel & Subramanian 1995], отвечающие за альфа-эффект и дифференциальное вращение, являющиеся основными составляющими механизма динамо. Учитывается, что в аккреционных дисках существуют интенсивные потоки вещества, направленные в сторону центра.

Были построены зависимости магнитного поля от времени при различных значениях динамо-числа. Показано, что критическое значение (в безразмерных единицах) выше, чем для галактик, что может объясняться качественной структурой течения. Максимальное значение магнитного поля наблюдается довольно близко к внутренней границе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. N.I.Shakura, R.A.Sunyaev. Black holes in binary systems. Observational Appearance. // Astron. Astrophys. 1973. V. 24. P. 337 – 355.
2. Д.Д.Соколов, Р.А.Степанов, П.Г.Фрик. Динамо: на пути от астрофизических моделей к лабораторному эксперименту. // Успехи физических наук 2014. Т.184. С. 313 – 335.
3. K.Subramanian, L.Mestel. Galactic Dynamos and Density Wave Theory - Part Two - an Alternative Treatment for Strong Non-Axisymmetry // MNRAS 1993. V.265. P.649 – 654.
4. D.Moss, E.Mikhailov, O.Silchenko et al. Magnetic fields in ring galaxies. Astron.Astrophys. 2016a. V. 592. A44.
5. D.Moss, D.Sokoloff, V.Suleimanov. Dynamo generated magnetic configurations in accretion discs and the nature of quasi-periodic oscillations in accreting binary systems // Asron.Astrophys. 2016b. V.588. A18.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ВЛАЖНОСТИ АТМОСФЕРЫ

**Е.В. Пашинов, В.В. Стерлядкин, Е.А. Шарков**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
rashinove@mail.ru*

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

Все современные модели формирования погоды и прогноза климата опираются, так или иначе, на температурно - влажностные данные, которые обеспечиваются спутниками ДЗЗ. Данные пассивного микроволнового спутникового температурно-влажностного зондирования представляют большую ценность для метеорологии и климатологии, поскольку могут быть получены в независимости от метеоусловий, с регулярным глобальным пространственным и временным покрытием Земного шара.

Традиционно, для спутникового зондирования профиля влажности атмосферы 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 показывают, 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.

В ходе работы над проектом РФФИ 18-02-01009 была запланирована и реализована экспериментальная проверка работоспособности предложенного дифференциального метода по измерениям профиля влажности нижней тропосферы с поверхности Земли в различных метеорологических условиях. Для этого был использован многоканальный радиометр «P22M», разработанный в Институте Радиотехники и Электроники РАН (ИРЭ РАН), перестраиваемый в диапазоне частот 18-27 ГГц.

Радиометр проводил непрерывные измерения с постоянным зенитным углом 51°, начиная с 05.07.2018 по 01.10.18, когда было достаточно много безоблачных дней и паросодержание атмосферы менялось в достаточно больших пределах от 15 до 35 мм.

Также за этот период были получены данные радиозондирования с метеостанции в городе Долгопрудный, которая находится в 25 км от места измерений и определены моменты времени, когда синхронные зондовые и радиометрические измерения проводились при безоблачном небе. В результате были рассчитаны коэффициенты

корреляции между усреднённой влажностью в атмосферных слоях 0-1 км, 1-2 км, 2-3 км, полученной из зондовых данных и разностями яркостных температур между двумя переменными частотами радиометра.

Наилучшая корреляция между усреднённой влажностью на высотах 0-1 км, 1-2 км, 2-3 км, прослеживается между дифференциальными измерениями на частотах 23-21,8 ГГц (0,72), 23,2-21,6 ГГц (0,88), 19,4-18,8 ГГц (0,86). Применение регрессионного анализа выше парах частот позволяют проводить восстановление профиля влажности с относительно ошибкой 11,51% на высотах 0-1 км, 7,83% на высотах 1-2 км и 24,77% на высотах 2-3 км.

Таким образом, результаты работы показывают, что дифференциальные измерения позволяют восстановить профиль влажности до 3х километров с поверхности Земли при отсутствии облачности с приемлемым уровнем ошибок.

# ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ ГРУНТА В ХОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА БОРТУ БУДУЩИХ ЛУННЫХ МИССИЙ

**А.С. Перхов**

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

**Научный руководитель: Литвак М.Л., д.ф. – м.н., профессор РАН**  
*ФГБУН Институт космических исследований Российской  
академии наук (ИКИ РАН)*

Изучение грунта, его физических, химических и пр. характеристик является важной составляющей в исследовании различных свойств поверхностного и подповерхностного слоя, а также космических тел в целом – спутников и планет Солнечной системы. Для подобных исследований необходимы устройства забора, обработки и анализа образцов грунта, используемые космическими посадочными аппаратами и планетоходами. В этом комплексе инструментов особую роль играют методы и способы подготовки частиц грунта для их эффективного изучения бортовой научной аппаратурой. Примерами успешного применения подобных устройств являются марсоходы НАСА Спирит, Оппортьюнити и Кьюриосити. Таким образом, дальнейшее развитие методов и инструментов предварительной обработки образцов грунта является необходимой задачей для будущих перспективных лунных миссий – как российских, так и зарубежных агентств.

Начальным этапом создания новых или развития старых конструкций устройств и методов переработки грунта является детальный анализ разработок, уже применявшихся в ходе космического эксперимента. Такой обзор инструментов и методов позволит получить полное представление о прошлых и современных наработках, чтобы использовать их преимущества и попытаться преодолеть недостатки, выявленные в ходе многолетнего опыта исследований небесных тел. Также на данном этапе это позволит сформулировать требования к перспективному устройству или методу для предстоящих миссий.

В данной работе выполнен обзор устройств предварительной обработки образцов грунта. Рассмотрены приборы лунных, марсианских и венерианских миссий. На основе изученных данных была проведена классификация устройств, проведено сравнение конструкций в рамках каждой группы по критерию эффективности подготовки образцов грунта. В итоге были предложены новые методы и подходы к созданию перегрузочного устройства для будущих лунных миссий.

# ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА АЗИМУТАЛЬНО-МЕЛКОМОСШТАБНЫХ МГД-ВОЛН В ОДНОМЕРНО- НЕОДНОРОДНОЙ МОДЕЛИ МАГНИТОСФЕРЫ С ПЛАЗМОЙ КОНЕЧНОГО ДАВЛЕНИЯ И КРИВЫМИ СИЛОВЫМИ ЛИНИЯМИ

**А.В. Петрашук, Д.Ю. Климушкин**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН), Россия, av.petrashchuk@mail.ru*

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

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

Изучено распространение гидромагнитных (МГД) волн в одномерной-неоднородной плазме конечного давления с кривыми силовыми линиями. Магнитные поверхности считаются концентрическими цилиндрами, где радиус цилиндра моделирует радиальную координату магнитосферы Земли. Предполагается, что волны обладают азимутальной мелкомасштабностью. В данном приближении имеется только две МГД-моды: альфвеновская и медленный магнитный звук (ММЗ). Получено обыкновенное дифференциальное уравнение, описывающее пространственную структуру волнового поля в данной модели. Изучен характер особенностей на поверхностях альфвеновского и ММЗ резонансов, влияние на него кривизны силовых линий. Определены области прозрачности волн. Установлено существенное расширение области прозрачности ММЗ, а само существования альфвеновской области прозрачности обусловлено наличием кривизны силовых линий и конечного давления плазмы: в противном случае пространственная структура представляет локализованный резонанс.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ КЛ СВЭ МЕТОДОМ РЕГИСТРАЦИИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ШАЛ НА ЧАСТОТЕ 30-35 МГЦ НА ЯКУТСКОЙ УСТАНОВКЕ

**С.П. Кнуренко, И.С. Петров**

*Институт космофизических исследований и астрономии  
им Ю.Г. Шафера, Россия, knurenko@ikfia.ysn.ru,  
igor.petrov@ikfia.ysn.ru*

**Научный руководитель: Петров З.Е., д.т.н.**

*Институт космофизических исследований и астрономии  
им Ю.Г. Шафера*

Измерениями радиоизлучения на Якутской установке показано, что этим методом можно независимо от измерения других компонент ливня изучать физику широких атмосферных ливней, включая оценку энергии первичной частицы, образующей ливень, продольное развитие каскада частиц в атмосфере (в нашем случае глубина максимума развития ливня  $X_{\max}$ ) и на этом основании, в рамках выбранной модели оценить массовый состав КЛ. На Якутской установке впервые было зарегистрировано радиоизлучение с энергией ливня  $E_0 \sim 10^{20}$  эВ и получены их характеристики. Для ливней с энергией  $E_0 \geq 10^{19}$  эВ были отслежены их расположения на карте неба в галактических и экваториальных координатах с целью поиска источников КЛ таких энергий.

# ОЦЕНКА МАССОВОГО СОСТАВА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПО ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДОЛЕ МЮОНОВ В ШАЛ С ЭНЕРГИЕЙ ВЫШЕ $5 \cdot 10^{18}$ ЭВ

**С.П. Кнуренко, И.С. Петров**

*Институт космофизических исследований и аэронауки  
им Ю.Г. Шафера, Россия, knurenko@ikfia.ysn.ru,  
igor.petrov@ikfia.ysn.ru*

**Научный руководитель: Петров З.Е., д.т.н.**

*Институт космофизических исследований и аэронауки  
им Ю.Г. Шафера*

В статье представлен анализ доли мюонов с порогом 1 ГэВ, зарегистрированный на расстоянии 600 м от оси ливня. Были проанализированы ливни с энергией выше  $5 \cdot 10^{18}$  эВ и зенитным углом меньше  $60^\circ$ . Сравнение экспериментальных данных с моделью QGSJetII-04 для разных первичных ядер, включая гамма-кванты, показал, что в массовом составе ливней с энергией до  $10^{19}$  эВ преобладают протоны и ядра гелия с небольшой долей более тяжелых ядер. При энергиях выше  $10^{19}$  эВ состав становится более тяжелым. Это подтверждается результатами анализа глубин максимумов и флуктуациями  $X_{\max}$ . Более того, приводятся данные ливней с малой долей мюонов, которые могут быть образованы гамма-квантами.

# ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО РЕГИСТРАЦИИ ПАРАФОТОНОВ

И.С. Алимкина<sup>1</sup>, С.В. Пичкуненко<sup>2</sup>, В.В. Филатов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МПГУ, Москва, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, swetlathok@gmail.com

Множество современных астрофизических и космологических исследований направлены на поиск частиц темной материи. Кандидатами на эту роль среди прочих являются парафотон и аксионы – скалярные и псевдоскалярные легкие бозе-частицы. Эти гипотетические частицы слабо взаимодействуют с материальными средами и обладают массой покоя порядка  $10^{-6} \dots 10^{-2}$  эВ [1-4]. Основные методы поиска аксионов основаны на эффекте Примакова - конверсии фотонов в аксион (парафотон) и обратно в статическом магнитном или электрическом поле. Одно из важных следствий эффекта Примакова — возникновение оптических свойств у вакуума, что может объяснить прозрачность вселенной и наблюдаемое ранее двойное лучепреломление света в вакууме под воздействием сильных магнитных полей вблизи нейтронной звезды [5]. Методы, основанные на этом эффекте, делятся на два основных направления. Первые направлены на детектирование аксионов от источников с сильным естественным магнитным полем и хорошо изученным спектром таких как, например: Солнце [6-9], нейтронные звезды [10] и другие. Второе направление - лабораторные методы. Преимущество последних в том, что мы знаем точные параметры источника излучения и можем манипулировать параметрами полей.

Исследования в области физики твердого тела и фотоники открывают новые возможности для экспериментальных исследований в области поиска частиц темной материи. В проведенных экспериментах [11] мы наблюдаем поляритонную бозе-конденсацию в стержне рубина, его индуцированную прозрачность, возникновение связанных стокс-антистоксовых состояний. Также в фотонных кристаллах мы можем наблюдать многократное локальное усиление электрического поля [12], что создает условия для бозе-конденсации [13] и усиления процессов формирования связанных фотонных состояний [14].

## ЛИТЕРАТУРА

1. M. S. Turner, Windows on the axion., Phys. Rept. 197, 67 (1990).
2. M. Dine, and W. Fischler, The Not So Harmless Axion, . Phys. Lett. B 120, 137 (1983).
3. J. Preskill, M. B. Wise, and F. Wilczek, Cosmology of the Invisible Axion, . Phys. Lett. B 120, 127 (1983).
4. L. Abbott, and P. Sikivie, A Cosmological Bound on the Invisible Axion., Phys. Lett. B 120, 133 (1983).
5. R. P. Mignani V. Testa D. González Caniulef R. Taverna R. Turolla S. Zane K. Wu, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 465, Issue 1, 11 February 2017, Pages 492–500,
6. Barth, A. Belov, B. Beltran. CAST constraints on the axion-electron coupling. Journal of Cosmology and Astroparticle Physics 05 (2013)
7. F. J. Iguaz on behalf of the CAST Collaboration. The CAST experiment: status and perspectives. Identification of Dark Matter 2010-IDM2010 July 26-30, 2010. arXiv:1110.2116v1 [hep-ex] 10 Oct 2011.
8. Igor G. Irastorza. CERN Axion Solar Telescope (CAST). Symposium on Detector Developments for Particle, Astroparticle and Synchrotron Radiation Experiments. SLAC, Stanford, California, US, 6-10 April 2006
9. W. Fraser, Andrew M Read, S. F. Sembay, Carter Ju, E. Schyns The X-ray signature of the solar axion flux observed by XMM-Newton. (2014).
10. B. Berenji, J. Gaskins, M. Meyer Constraints on axions and axionlike particles from Fermi Large Area Telescope observations of neutron stars. Phys. Rev.

11. И.С. Алимкина, В.С. Горелик, В.В. Филатов. Светоэкситонное рассеяние в рубине. Необратимые процессы в природе и технике: Десятая Всерос. Конф.: Труды: в 3 ч., часть 3, стр. 8-9, (2019).
12. В.С. Горелик, Дунсюэ Би, Н.С. Климова, С.В. Пичкуренко, В.В. Филатов. Распространение электромагнитных волн в одномерных слоистых квазипериодических диспергирующих средах. Необратимые процессы в природе и технике: Десятая Всерос. Конф.: Труды : в 3 ч., часть 3, стр 24-27, (2019).
13. В.С. Горелик, С.В. Пичкуренко, В.В. Филатов. Спектры пропускания и оптические свойства мезопористого фотонного кристалла на основе анодного оксида алюминия. Необратимые процессы в природе и технике: Десятая Всерос. Конф.: Труды : в 3 ч., часть 3, стр 61-64, (2019).
14. Горелик В. С., Измайлов Г. Н. Стимулированная конверсия фотонов в псевдоскалярные бозоны // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2011. №6.

# СООТНОШЕНИЕ ПАРСЕКОВОЙ СТРУКТУРЫ ЯДЕР АКТИВНЫХ ГАЛАКТИК И ИХ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОСПЕКТРА В ПОЛНОЙ ВЫБОРКЕ РАДИОИСТОЧНИКОВ ВБЛИЗИ СЕВЕРНОГО ПОЛЮСА МИРА

**А.В. Попков<sup>1</sup>, Ю.Ю. Ковалев<sup>1,2</sup>, Л.Ю. Петров<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup>*Астрокосмический центр Физического института им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия*

<sup>3</sup>*NASA GSFC, USA*

**Научный руководитель: Ковалев Ю. Ю., д.ф.-м.н.**  
*Астрокосмический центр Физического института им. П. Н. Лебедева РАН*

В докладе будут представлены результаты совместного анализа наблюдений с помощью радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ) и широкополосных радиоспектров для полной выборки внегалактических радиоисточников. Выборка включает источники со склонением более  $+75^\circ$  и потоком на частоте 1,4 ГГц более 0,2 Ян (согласно каталогу NVSS [1]). Используются двухчастотный (2,3 и 8,6 ГГц) обзор данных источников на РСДБ-сети VLBA, а также мгновенные широкополосные спектры, полученные на радиотелескопе PATAH-600 на 6 частотах от 1 до 22 ГГц [2]. В то время как наблюдения на одиночной антенне (PATAH-600) дают информацию об излучении источника как целого, РСДБ позволяет исследовать структуру объекта на масштабах парсек, которая связана с релятивистскими джетами в ядрах активных галактик. В работе была проанализирована связь между характеристиками спектра (форма, спектральный индекс) и РСДБ-параметрами — наличием или отсутствием детектирования, плотностью потока на различных пространственных масштабах, угловыми размерами, спектральными индексами компактных компонент. Подобное исследование для полной по потоку выборки проведено впервые. В результате подтвержден факт наличия компактной структуры (релятивистских джетов) у практически 100% источников с плоским спектром, а также определена доля компактных объектов среди полной выборки источников с круто падающим спектром, оказавшаяся равной примерно 20%. Найдена корреляция между компактностью источника и его спектральным индексом. При этом объекты с высокой компактностью существуют и среди источников с круто падающим спектром.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Condon J.J. et al. The NRAO VLA Sky Survey // The Astronomical Journal. 1998. V. 115. P. 1693-1716.*
2. *Мингалиев М.Г. и др. Спектральные характеристики радиоисточников вблизи Северного полюса мира // Астрономический журнал. 2007. Т. 84. С. 387-408.*

# ДИНАМИКА ОТРАЖЕНИЯ СВИСТОВЫХ ВОЛН ОТ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ИОНОСФЕРЫ И ИХ ВЫХОДА НА ЗЕМЛЮ

**С.А. Прохоренко, Д.Р. Шкляр**

*ФГБУН Институт комических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
sergey.proh@yandex.ru*

**Научный руководитель: Шкляр Д.Р., д.ф.-м.н.**

*ФГБУН Институт комических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН)*

Свисты являются одним из наиболее известных волновых явлений в ОНЧ-диапазоне, наблюдаемым как на Земле, так и на спутниках на околоземных орбитах. Это волновое явление формируется излучением молниевых разрядов, прошедшим по магнитосферной траектории от источника в точку наблюдения в противоположном полушарии. Из-за дисперсии групповой скорости волновые пакеты с различной частотой приходят в точку наблюдения в разное время, формируя характерный динамический спектр с понижающейся во времени частотой, который будучи трансформированным в звуковой сигнал воспринимается как свист. Несмотря на более чем вековую историю исследований свистов, проблема их выхода на Землю после прохождения по магнитосферной траектории остается открытой. Согласно уравнениям геометрической оптики (ГО) свистовая волна в области выхода из ионосферы в атмосферу имеет значение горизонтальной составляющей волнового вектора намного превышающее возможные значения волнового вектора в вакууме для волн данной частоты. При сохранении горизонтальной составляющей волнового вектора, чего требует однородность среды в горизонтальном направлении, такая волна испытывает полное внутреннее отражение и не выходит на Землю. В то же время, свисты наблюдаются на Земле. В настоящем докладе делается попытка объяснить это противоречие между теорией и экспериментом. Дело в том, что указанные выше теоретические результаты получены в предположении стационарной задачи для волнового поля, зависимость которого от времени  $t$  и горизонтальной координаты  $X$  имеет вид  $\exp(iK_x X - i\omega t)$ , со значением горизонтальной компоненты волнового вектора  $K_x$ , определяемым уравнениями ГО. Ясно, что оба эти предположения не выполняются в реальной ситуации: выход свиста на Землю, очевидно, является нестационарным переходным процессом, а волновой пакет, безусловно, ограничен в горизонтальном направлении. Для того, чтобы учесть эти факторы, вместо рассматриваемой обычно стационарной задачи с граничными условиями необходимо рассматривать динамическую задачу с начальными условиями. Кроме того, необходимо учесть, что реальный волновой пакет содержит бесконечный набор горизонтальных волновых векторов. Это дает возможность описать отражение свиста от нижней границы ионосферы и его выход на Землю как динамический переходный процесс. Этот процесс исследован в настоящем докладе на основе модельного уравнения для волнового поля, которое с определенной точностью справедливо как в ионосфере, так и в атмосфере. На основе аналитических и численных расчетов описана как динамика отражения волны от нижней границы ионосферы, так и прохождения волны в атмосферу и ее выхода на землю.

# ИЗУЧЕНИЕ РАССЕЯНИЯ В КОМЕ НЕСКОЛЬКИХ АСТЕРОИДОВ, ПРОЯВЛЯЮЩИХ СУБЛИМАЦИОННУЮ АКТИВНОСТЬ

**А.А. Резаева**<sup>1,2</sup>, **М.П. Щербина**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный университет  
имени М. В. Ломоносова, физический факультет, Москва,  
Россия, aa.rezaeva@physics.msu.ru*

<sup>2</sup>*Государственный астрономический институт  
имени П.К. Штернберга, Москва, Россия*

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

*Государственный астрономический институт  
имени П.К. Штернберга*

В настоящее время известно, что существуют так называемые активные астероиды, представляющие собой небесные тела, движущиеся по орбитам, характерным для астероидов, но, в то же время, демонстрирующие временную активность, подобную активности кометы. [1] Причины, по которым эти тела выбрасывают в окружающее пространство вещество, может быть несколько. Например, есть астероиды, теряющие массу в результате нестабильности своего вращения, соударений и т.д., что приводит к выбрасыванию пыли и образованию комы и хвоста. Также есть астероиды, проявляющие сублимационную активность при прохождении рядом с перигелием – у них кома и хвост состоят из ледяных частиц, возможно с примесями пыли.

Бусарев В.В. и др. [2] в 2016 г. обнаружили сублимационную активность у 4 астероидов главного пояса (145 Адеона, 704 Интерамния, 779 Нина, 1474 Бейра) и оценили характерные размеры частиц водяного льда, образующих комы этих астероидов.

В представленной работе моделируются спектры отражения данных астероидов с учетом рассеяния света в коме из водяного льда в предположении о том, что ледяные частицы имеют сферическую форму. Учет рассеяния проводился согласно теории рассеяния Ми. Спектры отражения астероидов в отсутствие сублимационной активности были взяты из обзора [3], для учета рассеяния света использовалась программа [4]. Сравнивая модельные спектры отражения с расчетными на основе наблюдательных данных, делается вывод о характерных размерах частиц в комах изучаемых астероидов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Jewitt D. THE ACTIVE ASTEROIDS // The Astronomical Journal, 2012 March, 143:66, 14 pp
2. Бусарев В.В. и др. ОЦЕНКА СОСТАВА ВЕЩЕСТВА И ОБНАРУЖЕНИЕ СУБЛИМАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ АСТЕРОИДОВ 145 АДЕОНЫ, 704 ИНТЕРАМНИИ,
3. 779 НИНЫ И 1474 БЕЙРЫ // Астрономический вестник, 2016, том 50, №4, с.300-312
4. Small Main-Belt Asteroid Spectroscopic Survey, Phase II // Режим доступа: <https://sbn.psi.edu/pds/resource/smss2.html> (дата обращения: 19.12.2018 г.)
5. Mishchenko M.I., Zakharova N.T. Fortran Codes for the Computation of (Polarized) Bidirectional Reflectance of Flat Particulate Layers and Rough Surfaces // Режим доступа: <https://www.giss.nasa.gov/staff/mmishchenko/brf/> (дата обращения: 19.12.2018 г.)

# К ВОПРОСУ О ПРОЦЕССАХ КОНДЕНСАЦИИ И ФОРМИРОВАНИЯ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ В ИОНОСФЕРЕ МАРСА

**Ю.С. Резниченко<sup>1,2</sup>, А.Ю. Дубинский<sup>1</sup>, С.И. Попель<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>*ФГБУН Институт комических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
reznichenko.yus@phystech.edu*

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

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский университет  
“Высшая школа экономики”, Москва, Россия*

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

*ФГБУН Институт комических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), МФТИ(ГУ), НИУ ВШЭ*

Представлена самосогласованная модель образования и эволюции пылевой плазмы в ионосфере Марса. Исследованы эффекты начальных распределений пылевых частиц, а также процессы конденсации и поглощения молекул углекислого газа и воды пылевыми частицами. Получены теоретические значения характерных размеров пылевых частиц и их зарядов. Найденные теоретические значения размеров пылевых частиц находятся в согласии с данными наблюдений. Обсуждается возможность образования плазменно-пылевых структур в марсианской ионосфере, аналогичных серебристым облакам в земной.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-02-00341-а) в рамках Программы № 28 фундаментальных исследований Президиума РАН “Космос: исследования фундаментальных процессов и их взаимосвязей”.

# БИСТАТИЧЕСКАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ ЛУНЫ: ЛОКАЛИЗАЦИЯ ОБЛАСТИ ОТРАЖЕНИЯ

**Р.А. Рудаменко<sup>1,2</sup>, В.В. Юшков<sup>1,2</sup>**

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

<sup>2</sup>*ФИРЭ им В.А Котельникова РАН, Фрязино, Россия,  
Crasher22@yandex.ru*

**Научный руководитель: Юшкова О.В., к.ф.-м.н.**  
*ФИРЭ им В.А Котельникова РАН, Фрязино, Россия*

В проекте Луна-Ресурс предполагается проведение исследований грунта Луны путём бистатической радиолокации. Для этого будет использоваться Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНС) находящийся в ведении Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН. В паре с ним будет работать радиолокационный комплекс РЛК-Л, установленный на космический аппарат (КА) Луна-26. ИРНС будет излучать сигнал мощностью 3.2 МВт на частотном диапазоне 150-160 МГц. РЛК будет принимать отражённый сигнал от поверхности Луны. Сравнивая характеристики (амплитуду и фазу) излучённого и отражённого сигналов, можно определить диэлектрические свойства грунта Луны в области отражения.

Доклад посвящён разработанной методике определения центра области отражения и её границ для отображения на трёхмерной модели поверхности Луны.

# ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

**В.В. Сазонов, И.А. Самыловский, М.В. Егоров, О.В. Морозов**  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Московский государственный  
университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия,  
ivan.samylovskiy@cosmos.msu.ru*

Представляется программный комплекс, позволяющий оператору, используя в качестве исходных данных иерархическую модель космического аппарата, файлы с описанием структуры солнечных батарей и информацию об орбитальных параметрах, рассчитать на заданный интервал параметры выработки электроэнергии солнечными батареями для сохранения в специализированную базу данных и последующей оценки планов работы бортовых систем.

Архитектура комплекса позволяет производить гибкую конфигурацию моделируемого космического аппарата, осуществлять расчет для различных вариантов орбит, моделировать затенение на различных этапах орбитальной работы.

Реализация с использованием кросс-платформенных технологий позволяет быстро настраивать комплекс для работы на АРМ под управлением основных классов операционных систем, используемых в космической отрасли.

# ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СРЕДА ПЛАНИРОВАНИЯ СЕАНСОВ СВЯЗИ С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

**С.В. Сазонова, И.А. Самыловский, В.В. Сазонов, М.В. Егоров,  
О.В. Морозов**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Москва, Россия, ivan.samylovskiy@cosmos.msu.ru*

Представляемый программный комплекс создан как компонент инструментальной среды для планирования и анализа космических миссий. Областью его применения является моделирование орбитального движения космических аппаратов, расчет траекторий движения наземных антенн для осуществления сеансов связи, подготовка траекторий к закладке на антенну и пост-анализ проведенного сеанса.

Исходными данными для программного комплекса является редактируемый набор антенных систем, характеризующихся координатами и ограничениями на углы и угловые скорости, а также редактируемый набор космических аппаратов, характеризующихся либо параметрами орбиты в виде TLE-файлов, либо траекториями в виде наборов векторов состояния, а также параметрами сигнала.

Оператор программного комплекса имеет возможность задать множество КА для проведения расчетов, промоделировать характеристики сеансов связи, сформировать упорядоченный пакет сеансов для обработки, а затем отправить его на антенну и оценить результаты обработки с помощью механизма просмотра отчета.

Для закладки на антенну применяется модифицируемый в соответствии с конкретными условиями протокол взаимодействия на основе TCP/IP. В отсутствие реальной антенны имеется возможность эмулирования движения антенны с помощью специальной программы-имитатора.

Сеансы могут быть запланированы как вручную, с использованием интерфейса приложения, так и с использованием отдельного компонента – системы планирования сеансов, предоставляющего веб-интерфейс для создания заданий и последующего просмотра отчетов в виде html-файлов.

Таким образом, разработан и подготовлен к внедрению распределенный комплекс программных средств, включающий в себя офлайн- и онлайн-компоненты и реализующий технологический цикл по моделированию, удаленному формированию, исполнению и пост-анализу сеансов связи наземной антенны с космическими аппаратами.

# ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА ЗАТЕНЕНИЯ И ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**В.В. Сазонов, А.С. Сапелкин, И.А. Самыловский, М.В. Егоров,  
О.В. Морозов**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия,  
ivan.samylovskiy@cosmos.msu.ru*

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

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

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

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

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

# МАСШТАБИРУЕМЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

**С.В. Сазонова, А.С. Сапелкин, И.А. Самыловский,**

**В.В. Сазонов, М.В. Егоров, О.В. Морозов**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Москва, Россия, [ivan.samylovskiy@cosmos.msu.ru](mailto:ivan.samylovskiy@cosmos.msu.ru)*

Представляется разработанный для нужд дистанционного зондирования Земли комплекс онлайн- и офлайн- компонент для обеспечения полного жизненного цикла заявки на проведение космической съемки: задание регионов интереса на Земле, формирование конфигурации заявки (параметры, разрешение, облачность, набор каналов и т.д.), планирование маршрутов съемки с учетом динамических параметров космического аппарата, формирование набора массивов полетных заданий для закладки на борт, планирование сеансов сброса информации на наземные антенны и поставка результатов обработки заказчиком.

Веб-интерфейсы программного комплекса позволяют развернуть центр планирования космических съемок на распределенной компьютерной сети с использованием разнородных операционных систем, что повышает гибкость изделия и позволяет с минимальными доработками использовать его для различных спутников ДЗЗ.

# ИЗУЧЕНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ФРОНТОВ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН

**О.В. Сапунова, Н.Л. Бородкова, Г.Н. Застенкер**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
sapunova\_olga@mail.ru*

Исследовалась тонкая структура фронтов Межпланетных Ударных Волн (МУВ), зарегистрированных плазменным спектрометром БМСВ, установленным на спутнике СПЕКТР-Р. Спектрометр позволяет непрерывно получать параметры плазмы солнечного ветра с высоким временным разрешением – 0.031 с для потока и направления и 1.5 с - для скорости, температуры и концентрации. Это дает возможность изучать внутреннюю структуру фронта МУВ - рампы, подножие, овершут, а также колебания (как по параметрам плазмы, так и по значениям магнитного поля) как перед, так и за фронтом. 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. Средняя скорость движения ударных волн составила 460 км/с. Особое внимание было уделено наблюдавшимся до фронта колебаниям (примерно в половине случаев). Их длина составила от 70 до 400 км.

Составлен список событий, в которых присутствовали колебания вблизи фронта. Вычислены их частоты (от 0.8 до 7 Гц) и длины волн (от 58 до 450 км) согласно параметрам плазмы и магнитного поля.

Были построены годографы поведения векторов магнитного поля и потока в период колебаний в проекции на фронт МУВ или на плоскость, перпендикулярную среднему значению параметра.

# АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СДВИГОВОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

**С.И. Сафонов, А.С. Петросян**

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

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

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

Работа посвящена исследованию энергетических спектров турбулентного течения космической плазмы в приближении магнитной гидродинамики с помощью метода быстрых искажений. Теория быстрых искажений турбулентности является методом линейного анализа для вычисления турбулентных течений, изменяющихся под действием крупномасштабных градиентов скорости потока, магнитного поля, граничных поверхностей, массовых сил. Основное предположение этой теории состоит в том, что поле турбулентности реагирует на некоторый внешний эффект настолько быстро, что инерция и силы вязкости, действующие на течение, производят только незначительные изменения в распределении скоростей. Таким образом, предполагается, что реакция на этот внешний эффект происходит в интервале времени малом по сравнению со временем вырождения турбулентности. Это делает задачу линейной и позволяет записать замкнутые уравнения для вторых моментов турбулентного течения. В работе теория быстрых искажений впервые разработана для несжимаемых неоднородных магнитогидродинамических течений космической и астрофизической плазмы и сформулированы условия ее применимости. Получены соотношения, позволяющие по известным начальным и граничным условиям рассчитать значения флуктуаций поля скорости и напряженности магнитного поля в любой точке пространства для любого момента времени. Мы изучаем турбулентное течение плазмы в приближении магнитной гидродинамики при наличии внешнего магнитного поля и вращения. Для исследования течений такой жидкости применяется статистический подход: магнитное поле и поле скорости представляются в виде суммы средней и флуктуирующей компонент. Затем уравнения усредняются, приводя к системе уравнений Рейнольдса. Получающаяся система уравнений не является замкнутой из-за наличия тензора напряжений и подобных ему слагаемых (вторые моменты). Для замыкания системы уравнений применяется метод быстрых искажений. Мы рассматриваем возмущения магнитного поля и поля скоростей, характерное время действия которых много меньше характерного времени взаимодействия флуктуаций друг с другом. На таких временах нелинейными членами в полученных уравнениях для флуктуаций скорости и магнитного поля можно пренебречь, оставив только слагаемые, описывающие воздействие среднего поля на флуктуации. Показано, что даже при сильной нелинейности, многие свойства турбулентности можно качественно исследовать, используя такую линейную теорию. К полученной системе линейных уравнений на флуктуации применяется трехмерное преобразование Фурье, выводятся уравнения, описывающие эволюцию волнового вектора и спектров флуктуаций скорости и магнитного поля. Перейдя в систему отсчета, связанную со средней скоростью, уравнение эволюции волнового вектора можно решить для заданных конфигураций среднего течения и магнитного поля.

Подставляя решение в уравнения на спектры флуктуаций, получаем замкнутую систему уравнений. Проводится вывод и анализ энергетических спектров флуктуаций скорости и магнитного поля. Показана динамика изменения формы спектра во времени.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАСОРЕНИЯ ОРБИТ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К УГЛОВОЙ ЗАЩИТЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**Д.А. Селезнёва**

*ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (НИУ МАИ)»,  
Москва, Россия, [dasha.selezneva@mail.ru](mailto:dasha.selezneva@mail.ru)*

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

*ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный  
университет (НИУ МГСУ)»*

В работе изучается проблема защиты космического аппарата от техногенных объектов на орбите. Основным предметом исследования являются направления подлёта частиц космического мусора к активному космическому аппарату. Изучается относительное движение орбитальных объектов с различными наклонениями орбит. Показаны наиболее вероятные направления подлёта частиц к защищаемой конструкции.

Объектом исследования является космический аппарат и окружающее его орбитальное облако частиц и фрагментов космического мусора. Предмет исследования - опасные и наиболее вероятные направления подлёта частиц к космическому аппарату. Цель работы заключается в определении наиболее вероятных и наиболее опасных направлений подлёта техногенных частиц. Эти направления требуется защитить особенно надёжно для обеспечения нормальных условий функционирования космического средства и его обеспечивающих систем [1].

Задача решается на основе принципа Галилея для сложения скоростей. Относительное движение фрагмента космического мусора и аппарата изучается аналитически посредством векторной алгебры и геометрии, а также иллюстрируется моделями из повседневной жизни.

В работе показано, что орбитальные объекты могут столкнуться со скоростью, величина которой изменяется от нулевой до удвоенной первой космической [2]. При этом теоретически возможно пересечение орбит под углами от нуля до 180 градусов. Однако на практике с учётом особенностей истории освоения космического пространства и реального засорения низких околоземных орбит встречные удары объектов практически невозможны. Точно также углы подлёта частиц космического мусора к активному космическому аппарату изменяются в пределах от нуля до 90 градусов. Прямой угол подлёта частиц является предельным, скорость удара при таком угле будет нулевой. Это означает, что боковую поверхность космического аппарата не нужно защищать от орбитальных техногенных объектов. Точно также нет смысла располагать защитные экраны позади конструкции, потому что никакой орбитальный объект не может двигаться со скоростью больше круговой на заданной высоте. Лобовые удары космических аппаратов маловероятны, практически пока не могут иметь места из-за использования прямой схемы выведения спутников на околоземные орбиты. Такие схемы предполагают использование скорости вращения Земли и требуют меньшего количества топлива для ракеты-носителя.

Новое направление исследований – определение штрафных санкций за увеличение количества космического мусора на орбитах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.Л., Меньшиков В.А., Пчелинцев Л.А., Лебедев В.В. Космический мусор. В 3-х томах. Том.1. - М.: Патриот, 1996. - 360 с.
2. Селезнёва Д.А. (НИУ МАИ, 1 курс). Формирование требований к угловой защите аппаратов от космического мусора / 17-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2018». - 19–23 ноября 2018 года, Москва, МАИ. Тезисы. – Типография «Люксор», 2018. - 740 с. - ISBN 978-5-6041283-3-6. - УДК 629.7. - ББК 94.3 39.52 39.62. - Электронный ресурс: <http://aik.mai.ru/files/abstracts.pdf> - Направление 5: «Ракетные и космические системы». - С.347-348.

# СВОЙСТВА ОРБИТАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ И МЕТОДЫ ФОТОГРАММЕТРИИ НА ПРИМЕРЕ СЪЕМКИ ЛУНЫ

**А.А. Семенов, А.Р. Ахмедзянова, М.И. Шпекин**  
*Казанский Федеральный Университет, Казань, Россия,*  
*rulliikk@gmail.com*

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

Введение. Если сравнивать аэрофотосъемку и съемку с орбиты, то можно перечислить немало отличительных особенностей. В первую очередь - это масштаб изображений, параметры съемочных камер, ориентация снимков и другие. Однако есть еще одна отличительная черта, которая имеет принципиальное значение при фотограмметрии аэрофотоснимков и снимков орбитальных. Если в случае аэрофотосъемки проекций различных снимков маршрута, вообще говоря, величины независимые, то орбитальная съемка подчинена строгим законам небесной механики. В этом случае центры проекций снимков лежат на одной линии, которая представляет собой орбиту движения носителя съемочной камеры. Это означает, что координаты центров проекций связаны между собой. Названное обстоятельство имеет важное значение с точки зрения совместной фотограмметрической обработки снимков, полученных с одной орбиты. В настоящей работе рассматриваются некоторые свойства орбитального движения и их значение в решении задач фотограмметрии. Изложение ведется применительно к орбитам в окололунном пространстве. Такой выбор продиктован характером вращения Луны вокруг своей оси.

Постановка задачи. В силу законов небесной механики через две точки пространства в определенные моменты времени может пройти лишь одна траектория, совпадающая с кеплеровой орбитой. Очевидно, что трехмерные координаты двух точек орбиты позволяют составить 6 равенств, выражающих селеноцентрические координаты как функции элементов орбиты и двух моментов времени. Рассматривая такие равенства в качестве уравнений относительно 6 элементов орбиты, получим систему 6 нелинейных уравнений с 6 неизвестными. Решение такой системы уравнений позволяет определить значения элементов орбиты. Ранее [1] мы назвали такую орбиту «фотограмметрической», поскольку положения объекта на орбите находятся на основе фотограмметрии снимков Луны.

Практические приложения. Движение на окололунной орбите представляет практический интерес для изучения самой Луны, ее гравитационного поля, построения систем лунных координат и других задач. Наземные способы слежения «покрывают» лишь часть окололунной орбиты, когда объект движется в районе видимого полушария. Часть орбиты, когда объект находится над обратной стороной, к сожалению, недоступна наземным измерениям. Тогда расчет фотограмметрической орбиты представляет несомненный практический интерес, так как дает фактическое положение носителя фотокамеры над территорией, невидимой с Земли. Другой пример касается построения каталогов лунных координат по орбитальной съемке. Если в создании каталога участвует ряд орбитальных снимков, то центры их проекций целесообразно аппроксимировать фотограмметрической орбитой. Такой алгоритм обеспечивает взаимное уравнивание координат центров, что приводит к повышению

точности каталога. Первый опыт такого рода использовался при создании трехмерного каталога краевой зоны Луны в районе моря Восточного [6]. Другие приложения фотограмметрической орбиты связаны с построением одиночных стереомоделей, когда элементы орбиты включаются в решение этой задачи с самого начала. Особенно эффективен в такой постановке вариант конвергентной съемки.

Перечисленные задачи находятся сейчас в стадии разработки. Первые результаты, как рассчитывают авторы, будут представлены на конференции.

**Заключение.** На важное значение определения параметров орбиты при построении фотограмметрических сетей обращал внимание Урмаев М.С. в своей монографии [4] и учебнике [5], а также авторы [3]. Предстоящие запуски к Луне орбитальных станций и посадочных модулей, включенные в российскую космическую программу на ближайшие несколько лет [2], подтверждают практическое значение задачи определения окололунных орбит. Задача создания единой системы лунных координат, которая покрывала бы равномерно всю Луну, и сегодня остается актуальной. Возможности орбитальной съемки Луны еще далеко не исчерпаны. Такую съемку важно вести разными камерами, с разных орбит, учитывая при этом свойства орбитального движения уже на этапе подготовки съемки.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Шпекин, М.И., Мухаметшин Ч.Р. Задача определения окололунной фотограмметрической орбиты. XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики, Казань, 20 – 24 августа 2015 года. С. 4256-4258.
2. Сайт ИКИ РАН 2015 // <http://www.planetary-department-iki.ru/projects/future/luna/lis.html>
3. Алексашин Е.П., Тимофеев Ю.С., Ширенин А.М. Селеноцентрическая система координат «Зонд-8». Методы построения и каталог координат опорных точек. Сборник научных трудов ЦНИИГАиК. - М., ЦНИИГАиК ГУГК СССР, 1989. - 216 с
4. Урмаев М.С. Орбитальные методы космической геодезии. М.: Недра, 1981. 256 с.
5. Урмаев М.С. Космическая фотограмметрия. М.: Недра, 1989. 279 с.
6. Шпекин М.И. Рельеф краевой зоны Луны в районе моря Восточного. Деп. ВИНТИ, 18.05.83, № 2652-83, 52 с.

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕТЕКТОРА ПРОТОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Е.М. Стадничук<sup>1,2</sup>, М.Е. Зелёный<sup>1,2,3</sup>, И.В. Зимовец<sup>3</sup>, А.А. Нозик<sup>1,2</sup>,  
А.С. Семенцов<sup>1,2</sup>

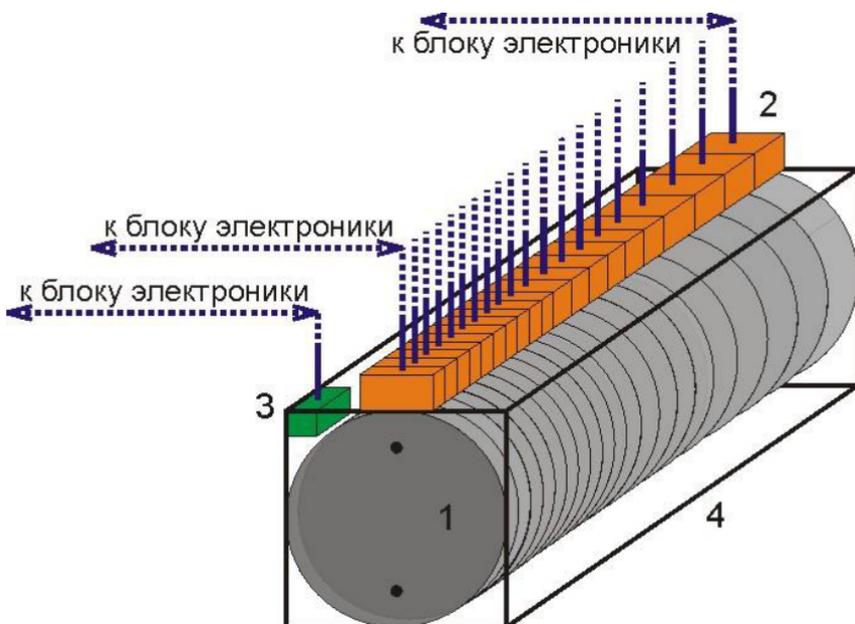
<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, Россия

<sup>2</sup>ИЯИ РАН

<sup>3</sup>ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

В результате спорадических явлений солнечной активности электроны и ионы ускоряются до энергий до нескольких МэВ и до нескольких ГэВ соответственно. Таким образом образуются солнечные космические лучи (СКЛ). Во время солнечных вспышек их интенсивность становится высокой, что опасно для космонавтов и космической аппаратуры. Для мониторинга потока электронов и ионов в СКЛ, а также для измерения их спектра в настоящей работе разрабатывается детектор.

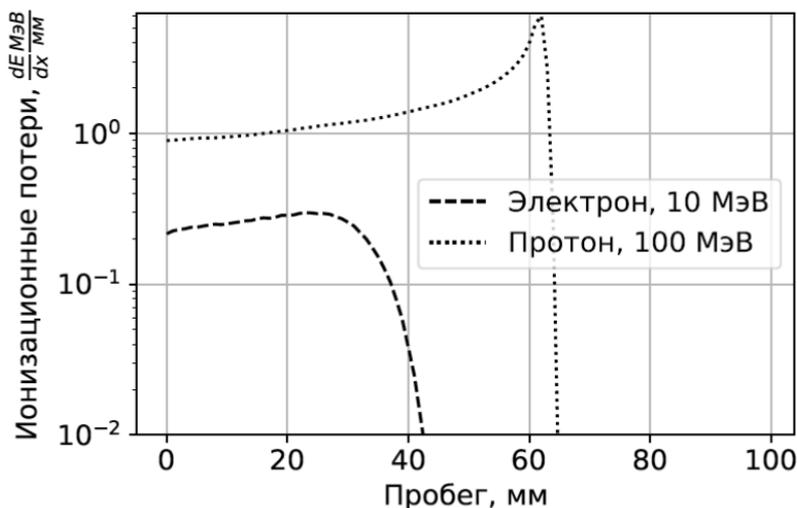
Детектор представляет собой цилиндр, состоящий из нескольких сцинтилляционных шайб. При прохождении частиц сквозь детектор в шайбах высвечиваются фотоны, которые через оптоволокно попадают в SiPM.



**Рис. 1.** Основные элементы детекторного блока макета: 1 – сцинтилляционные шайбы, 2 – кремниевые лавинные фотодиоды (SiPM), 3 – температурный датчик, 4 – монтажно-защитный корпус.

Детектор проектируется для измерения электронов с кинетической энергией от 1 до 10 МэВ и протонов с кинетической энергией от 10 МэВ до 100 МэВ. Методика измерения основана на кривой ионизационных потерь частиц в веществе. Частицы, проходя сквозь

детектор, в разных шайбах выделяют разное количество энергии, что позволяет восстановить кривую потерь. Для протонов эта кривая имеет характерный пик Брегга, по положению которого можно определить энергию частицы.



**Рис. 2.** Кривая ионизационных потерь протонов и электронов в сцинтилляторе.

С целью оптимизации конструкции детектора было проведено лабораторное исследование зависимости величины и неоднородности световыходов отдельных сцинтилляционных шайб от способа крепления к ним SiPM, для случая прямого оптического контакта и через оптоволоконно. Также, вследствие планируемого использования телескопа в космосе был исследован характер зависимости коэффициента усиления и рабочего напряжения SiPM от температуры. Помимо этого был собран и протестирован на космических мюонах рабочий прототип детектора подобной конструкции.

# ДВИЖЕНИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ В ТУРБУЛЕНТНОМ КЕПЛЕРОВСКОМ ТЕЧЕНИИ

**Е.А. Семенюк, А.С. Петросян**

*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия,  
semenyuk.ea@phystech.edu*

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

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

Слипание частиц пыли в более крупные пылевые агрегаты является ключевым процессом в теории формирования планет. Однако проблема отыскания эффективного механизма транспорта частиц с последующим объединением до сих пор остается нерешенной. В данной работе исследуется влияние потоковой неустойчивости на формирование планетезималей в случае турбулентного кеплеровского течения в протопланетном диске. Большинство теоретических исследований по данной тематике не учитывают внешнее магнитное поле и процессы, связанные с ним. Особенностью данной работы является моделирование движения частиц в трехмерном пространстве с учетом магнитного поля с помощью метода синтетической турбулентности. Таким образом, получена более полная модель, демонстрирующая переход от изначально однородного распределения частиц пыли к неоднородному с образованием плотных скоплений под действием антициклонических вихрей в Кеплеровском диске.

# ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДЕФОРМАЦИИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛ КОСОГО ПАДЕНИЯ

**Д.В. Сербинов**

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

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

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

Зеркала косоугольного падения являются одними из основных инструментов рентгеновской астрономии. Отражение в них рентгеновских фотонов возможно только при очень малых углах падения (до десятков угловых минут). При этом имеются жесткие ограничения на отклонения формы зеркал от теоретического профиля. На борту космического аппарата основным фактором, приводящим к искажению формы зеркал, являются тепловые условия. В идеальном случае температурный градиент по конструкции зеркала должен быть сведен к нулю, однако, в реальности это практически невозможно. В связи с этим, для каждой конкретной зеркальной системы необходимо исследование влияния температурных градиентов на ее характеристики.

На примере зеркал косоугольного падения российского космического рентгеновского телескопа показана методика проведения расчета и анализа характеристик этих зеркал. Представлены результаты расчета термодформации зеркал косоугольного падения и приведено сравнение их характеристик при разных температурных градиентах.

# ЭВОЛЮЦИЯ МЕТЕОРНОГО КОМПЛЕКСА Δ-КАНКРИДЫ

**М.В. Сергиенко, М.Г. Соколова**

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

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

*Казанский (Приволжский) федеральный университет*

Целью исследования является построение эволюционно динамической модели и поиск родительских тел (РТ) мало изученного метеорного комплекса Δ-Канкрид (северная NCC и южная SCC ветвь), имеющего малую активность и относящегося к потокам-сиротам. Поиск потенциальных РТ потока среди астероидов выполнен на основе комплексного подхода изучения наблюдаемой структуры метеорного потока, оценки общей массы роя и его вероятного возраста, анализа динамики орбитальных элементов орбит метеороидов роя и влияния на них резонансов от планет. отождествление роя с астероидами проведено в группах Аполлоны, Амуры, Алены и Атиры, пересекающих орбиту Земли, с использованием различных критериев оценки динамической близости расстояний между орбитами малых тел, сравнивается орбитальная эволюция выделенных астероидов и метеороидов комплекса Δ-Канкрид.

# ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ NDVI ПОСЕВОВ НА ПОЛЯХ РАЗНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ

С.С. Шинкаренко<sup>1,2</sup>, Н.В. Сидорова<sup>2</sup>, В.Н. Бодрова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Россия

<sup>2</sup>Волгоградский государственный университет, Волгоград, Россия, gik@volsu.ru

<sup>3</sup>АНО ВО «Университет Иннополис»

Анализ сезонной динамики вегетационных индексов посевных площадей является актуальной задачей. Особенности временного хода NDVI используются для определения культур на полях, прогнозирования урожайности, оценки всхожести, выделения неиспользуемых земель и других задач, решаемых с использованием дистанционных данных. Как правило, для каждой оперативной единицы - поля, участка поля или административной единицы рассчитываются средние значения индекса в границах соответствующего контура на каждую дату. После чего строится эталон для культуры, на основе которого производится разделение посевов на основе различных алгоритмов, например, дискриминантного анализа, «random forest» и др.

При таком подходе редко учитываются ландшафтные особенности территории: почвенный покров, морфометрические характеристики и т.п., которые существенно влияют на особенности развития растений. Целью данного исследования является изучение влияния экспозиции склонов, на которых расположены посевные площади, на сезонную динамику NDVI для различных культур. Для земель тестового полигона Плотников - 1 (Даниловский район Волгоградской области) рассчитаны показатели преобладающей экспозиции для 96 полей общей площадью 11586,6 га, определены значения NDVI по данным MODIS (MOD13Q1) для различных культур: пшеницы озимой, рожьика озимого, подсолнечника, ярового ячменя.

Экспозиции склонов определялись в программе QGIS 3.2 по данным SRTM3. Данные предварительно перепроецированы в UTM, после чего была рассчитана экспозиция. Получившийся растр был сглажен для упрощения структуры, потом классифицирован по восьми румбам экспозиции и векторизован. Далее векторный слой с экспозицией в атрибутах был пересечен маской полей, рассчитаны площади получившихся фрагментов. После этого для каждого поля были определены площади, занятые участками с разной экспозицией, и определен преобладающий тип экспозиции на поле. На завершающем этапе геoinформационной обработки поля были сгруппированы по культурам и экспозициям (всего 28 классов), далее обработка осуществлялась в MS Office Excel.

Для озимой пшеницы характерно увеличение среднегодового NDVI на полях южной, юго-западной и западной экспозиции на 5-7% по сравнению со средними значениями для площадей всех экспозиций. Особенно заметно превышение NDVI весной: в апреле разница между значениями индекса на полях северо-восточной, северо-западной и южной экспозицией может достигать 40-50%. Озимый рожьик дает в среднем прибавку в 4-4,5% только на склонах южной экспозиции, весной разница достигает 15-20%. Для яровых культур также характерен рост NDVI на склонах прилегающих к южной экспозиции румбов: 8-10% у ячменя и 5-7% у подсолнечника.

Исследование позволило установить влияние экспозиции на состояние посевных площадей, выраженное через вегетацион-

ный индекс NDVI. Необходима дальнейшая работа в этом направлении с большими выборками и учетом агрохимических показателей, величин уклонов, гидротермических условий и других факторов, которые влияют на состояние растительности и её спектрально-отражательные характеристики.

# ДИНАМИКА МАГНИТНОЙ И КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЙ В ТРЕХМЕРНОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЛАЗМЕ

**Р.А. Сиразов<sup>1,2</sup>, А.С. Петросян<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия, [rus-sirazov@yandex.ru](mailto:rus-sirazov@yandex.ru)

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

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

Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

Турбулентность является широко распространенным состоянием космической плазмы во многих астрофизических, гелиофизических, геофизических процессах. Работа посвящена численному моделированию однородной магнитогидродинамической турбулентности во вращающейся плазме.

Для решения уравнений магнитной гидродинамики разработан программный код, позволяющий рассчитывать пространственно-временную динамику системы. В качестве вычислительного метода используется псевдоспектральный метод решения дифференциальных уравнений в частных производных с использованием быстрого преобразования Фурье. В качестве временной схемы используется итерационный метод Эйлера. Для решения проблемы алиасинга используется правило  $2/3$ , в виде ограничения сетки в Фурье-пространстве кубической областью  $-N/3 < k_x, k_y, k_z < N/3$ , что позволяет исключить ложные решения.

Изучается турбулентность в трёхмерной области размером  $2\pi \times 2\pi \times 2\pi$  и периодическими граничными условиями. Начальные условия для поля скоростей заданы в виде ротора случайного изотропного векторного потенциала поля скоростей. В качестве начальных условий для магнитного поля используется постоянное магнитное поле, сонаправленное с вектором  $\Omega$ . В работе проводятся вычисления на сетках размером до  $256 \times 256 \times 256$ .

Для реализации программного кода используется язык программирования CUDA C.

Проведённые вычисления обнаруживают, что несмотря на наличия эффекта анизотропного вырождения однородной трехмерной турбулентности в случае наложения сильного внешнего магнитного поля, либо в случае быстрого вращения расчётной ячейки, существует промежуточная ситуация, выделяющаяся наличием периодических колебаний уровней кинетической энергии и энергии магнитного поля.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ ПО КАЧАНИЮ И ВРАЩЕНИЮ ДЖЕТА В ГАЛАКТИКЕ M87

**Д.Н. Собьянин**

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

Новые длительные радиоастрономические наблюдения одного из наиболее известных космических струйных выбросов — джета в галактике M87 — на частоте 43 ГГц свидетельствуют о том, что джет испытывает поперечное квазипериодическое смещение с периодом от 8 до 10 лет. Такое покачивание джета может говорить о релятивистской прецессии Лензе-Тирринга наклоненного аккреционного диска. Период покачивания вместе с современными кинематическими данными по вращению джета открывает возможность для оценки углового момента центральной сверхмассивной черной дыры. В случае прецессии пробных частиц приведенный угловой момент равен  $J/Mc = (2.7 \pm 1.5) \times 10^{14}$  см и подразумевает наличие умеренных значений безразмерного параметра вращения черной дыры  $a = 0.5 \pm 0.3$  и  $0.31 \pm 0.17$  для противоречивых газодинамических и звездодинамических значений ее массы. Однако в случае твердотельной прецессии параметр вращения значительно меньше для обоих значений массы,  $0.15 \pm 0.05$ . Исключение последнего значения на основании других независимых оценок требует существования в M87 магнитноарестованного диска.

## ЛИТЕРАТУРА

1. D. N. Sob'yanin, *Black hole spin from wobbling and rotation of the M87 jet and a sign of a magnetically arrested disc*, Mon. Not. R. Astron. Soc.: Lett. 479, L65 (2018).

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В АТМОСФЕРЕ МАРСА ПО ДАННЫМ СОЛНЕЧНОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ ACS-MIR АППАРАТА EXOMARS/TGO

**Е.Д. Стариченко<sup>1,2</sup>, Д.А. Беляев<sup>1,2</sup>, А.С. Медведев<sup>3,4</sup>,  
О.И. Кораблев<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет),  
г. Долгопрудный, Россия, ArtJoker5@gmail.com*

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

<sup>3</sup>*Max Planck Institute for Solar System Research, Göttingen, Germany*

<sup>4</sup>*Institute of Astrophysics, Georg-August University, Göttingen,  
Germany*

**Научный руководитель: Беляев Д.А.<sup>1,2</sup>, к.ф.-м.н.**

<sup>1</sup>*Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)*

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

Внутренние гравитационные волны (ВГВ) представляют собой распространение колебаний воздушных масс в атмосфере планеты. При возникновении ВГВ атмосфера, находящаяся в поле тяжести, выводится из равновесного состояния и возникают колебания плотности, давления и температуры атмосферного столба. Таким образом, изучая высотные распределения плотности и температуры, мы можем исследовать такие гравитационные волны атмосферы Марса.

В данной работе мы представляем результаты восстановления вертикальных профилей плотности CO<sub>2</sub> и температуры атмосферы Марса, полученные в режиме солнечного просвечивания спектрометром ACS-MIR. Комплекс российских инфракрасных спектрометров АЦС (ACS – Atmospheric Chemistry Suite) начал выполнение научной программы на орбите около Марса в апреле 2018 года с борта аппарата TGO (Trace Gas Orbiter) в рамках российско-европейской миссии ЭкзоМарс. Канал среднего ИК диапазона ACS-MIR представляет собой эшелле-спектрометр высокого разрешения со скрещенной дисперсией [1] и предназначен для эксперимента по солнечному просвечиванию атмосферы в области спектра от 2.3 до 4.3 мкм. Спектрометр позволяет зондировать крайне тонкие слои марсианской термосферы, вплоть до высот 200 км, в различных полосах поглощения CO<sub>2</sub> – как в сильных (2.7 и 4.3 мкм), так и в слабых линиях (около 3 мкм). Это дает возможность детально изучать плотность, шкалу высот и температуру как нижней атмосферы, так и термосферы Марса. Анализируя флуктуации высотных профилей плотности и температуры, мы делаем выводы о параметрах ВГВ в исследуемых слоях атмосферы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Korablev O., Montmessin F., and ACS Team. "The Atmospheric Chemistry Suite (ACS) of three spectrometers for the ExoMars 2016 Trace Gas Orbiter", SpaceSci. Rev., 214:7, 2018.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ТЕЛ АЗОТОМ

**В.А. Столбова**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия  
valeriestolbova@icloud.com*

**Научный руководитель: Сидняев Н.И., д.т.н.**

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

В данной работе представлены результаты исследований, связанных с изучением физико-химических процессов в пристеночном пограничном слое, происходящих при обтекании графитовых образцов азотом. Основное внимание уделяется анализу распределения концентраций химических компонент по толщине пограничного слоя высокоскоростных летательных аппаратов, основанному на детальном учете механизма протекания гетерогенных каталитических реакций в условиях поверхностного массообмена.

Характерной особенностью задач аэродинамики и теплообмена больших сверхзвуковых скоростей является необходимость совместного учета диссипативных процессов, обусловленных вязкостью, теплопроводностью и диффузией, а также физико-химических процессов в газе и на поверхности [1-2]. В таких задачах мы имеем дело с многокомпонентной высокотемпературной химически реагирующей смесью в высокоскоростном потоке. При математической постановке задачи поверхностная активность входит в граничные условия системы уравнений, описывающей многокомпонентное реагирующее течение у каталитической поверхности, в том числе и с учетом массообмена. Эффекты каталитической рекомбинации описываются с помощью введения коэффициентов рекомбинации, которые показывают долю атомов, рекомбинирующих на поверхности. Коэффициенты зависят как от свойств поверхности, так и от условий в газовой фазе и скорости рекомбинации. Следовательно, как в экспериментах, так и в летных условиях требуется применять весьма точные модели течения и методы расчета теплообмена с соответствующими газофазными реакциями.

В настоящей работе сделана попытка количественной оценки теплового потока при рекомбинации различных компонент на графитовой поверхности. Изложены основные свойства течений с большими скоростями с учетом физико-химических превращений около критической точки тела. Предложена математическая формулировка задачи обтекания критической точки и сформулированы граничные условия системы уравнений, описывающей многокомпонентное реагирующее течение у поверхности. Приведены алгоритмы и математическая модель, характеризующие возможности и особенности вычислительного алгоритма. Выявлены, что важнейшими величинами, определяющими концентрации веществ по толщине пограничного слоя на каталитической поверхности, являются коэффициенты скоростей и интенсивность массообмена.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сидняев Н.И. Обзор методик исследования обтекания гиперзвуковым потоком газа тел с разрушающимся покрытием // Теплофизика и аэромеханика. 2004. Т. 11. № 4. С. 501–522.
2. Сидняев Н.И. Математическое моделирование химического активного пограничного слоя при диффузном режиме окисления/ Необратимые процессы в природе и технике: Сборник научных трудов. Вып. I. / Под ред. Горелика В.С. и Морозова А.Н. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. С. 68-81.

# ОБРАБОТКА ДАННЫХ СО СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ CORTEX

**Т.А. Сурков, Я.И. Марков, А.А. Мищенко, А.М. Садовский**  
*ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

Результаты измерений со спутников, как правило, используются в двух сценариях. Первая группа - это ученые и исследователи, которым нужно эти данные проанализировать; для них важна точность обработки и полнота данных. Вторая группа - операторы запусков спутниковых экспериментов; им нужно в режиме реального времени отслеживать ряд показателей со спутников. Проблема состоит в том, что в процессе эксперимента спутниковое оборудование делает порядка тысяч измерений в секунду и для отображения этих данных какой-либо из групп требуется тщательная и информативная, либо быстрая обработка и этих данных, а именно - усреднение большого количества точек по времени. И в том и в другом случае нужно грамотно определить алгоритмы усреднения, исходя из требований каждой заинтересованной группы.

В докладе описывается процесс получения данных со спутников на ближней орбите земли, а также базовые принципы работы системы сжатия данных CORTEX. Ставится задача обработки и отображения этих данных. Отдельное внимание уделяется выбору алгоритмов усреднения больших данных по времени.

# ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НАД СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫМ РЕГИОНОМ ПО ДАННЫМ GPS В УСЛОВИЯХ СПОКОЙНОГО ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

**М.А. Титова<sup>1,3</sup>, В.И. Захаров<sup>2</sup>, С.А. Пулинец<sup>1</sup>,  
M. Hernández-Pajares<sup>4</sup>**

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

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

<sup>3</sup>ФГБУН ИЗМИРАН, Москва, Троицк, Россия

<sup>4</sup>UPC-IonSAT, Polytechnical University of Catalonia, 08034 Barcelona,  
Spain

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

ФГБУН Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН)

Все области верхней атмосферы взаимодействуют между собой посредством различных динамических процессов, образуя систему геосфер. Эта система подвержена воздействиям внешним, связанным с активностью Солнца и изменением магнитного поля Земли, а также влиянию многих процессов в нижних слоях, в системе литосфера-атмосфера. В результате вышеперечисленных воздействий верхняя атмосфера изменяет своё состояние, т.е. физические характеристики. Их отклонения от средних равновесных значений называют возмущениями, которые могут регистрироваться радиофизическими методами. Диагностика состояния ионосферы посредством обнаружения фазовых и амплитудных аномалий на трассах распространения радиоволн позволяет наблюдать за процессами перестройки областей земной атмосферы. Механизмы передачи атмосферных воздействий на ионосферные высоты представляют большой интерес для исследований. Тем не менее, вопрос о локализации начального возмущения необходимо рассматривать особо, поскольку он требует учета процессов передачи энергии из различных геосферных источников в ионосферу. Данное обстоятельство затрудняет в ряде случаев однозначную интерпретацию результатов.

В связи с этим работа сосредоточена над исследованием землетрясения, которое является источником атмосферных и ионосферных возмущений. Рассмотрены примеры локализации выявленных неоднородностей ионосферы для случая, когда удастся связать указанные возмущения с конкретными источниками региона о.Гаити в период 01-15 января 2010 г. Геомагнитная обстановка в указанный период была в целом невозмущенной, до 20 нТл.

Нами были обработаны данные станций наземного базирования, объединенных в глобальные (IGS и UNAVCO) сети. Для анализа были выбраны 67 наземных станций (т.е. 43 млн. отсчетов фазы или более 7,5 тыс. часов индивидуальных наблюдений). Проведенный анализ спектров выделенных волновых структур, имеющих скорости, соответствующие АГВ (от 300 до 1200 м/с), показывает, что именно в период после значительных сейсмособытий изменяется параметр спадаания  $\alpha$  волнового спектра.

Общий анализ полученных данных показывает, что над сейсмически активными районами происходят интенсивные изменения

параметров ионосферы относительно показателей их регулярной изменчивости не только во время основного события, но также в период подготовки землетрясений и после его активной фазы. Причем источником неоднородных структур является не только будущий эпицентр, но и вся область подготовки землетрясения: активные разломы, области их движений, границы тектонических плит.

Геофизический анализ результатов позволяет установить, что неоднородные структуры ионосферы, обнаруженные методом GPS-интерферометрии на выбранной наблюдательной сети, географически связаны с местами орографических возмущений. Например, с нагонными явлениями и волнами на мелководье, на которых при обтекании воздушными массами генерируются волновые возмущения, а также с образованием турбулентных вихрей при изменении подстилающей поверхности: при выходе ветровых масс на сушу.

# РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ТОКОВОМ СЛОЕ ХВОСТОВОЙ ОБЛАСТИ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

**Д. Тоноян**

*Физический Факультет, МГУ им. М.Ю. Ломоносова, Москва, Россия*

Динамика электронов в хвостовой области магнитосферы существенным образом определяется эффективностью их рассеяния в окрестностях экваториальной плоскости на сильных градиентах магнитного поля. Основную роль в таком рассеянии играет токовый слой магнитосферы, в области которого конфигурация силовых линий магнитного поля наиболее способствует эффективному рассеянию электронов. Хорошо исследована простейшая конфигурация силовых линий с единственным минимумом кривизны в окрестности экваториальной плоскости. Однако современные спутниковые наблюдения указывают на существование токовых слоёв, силовые линии магнитного поля в которых обладают минимумами кривизны вдали от экватора. Изучению рассеяния электронов в таких конфигурациях посвящён данный доклад. Используя модельную форму силовых линий, исследована зависимость интенсивности рассеяния от питч-углов для токовых слоёв с различными конфигурациями силовых линий. Аналитические результаты сопоставлены с данными численного интегрирования траекторий электронов.

# СВЯЗЬ МАГНИТНОГО ПОТОКА СОЛНЕЧНЫХ ЭРУПЦИЙ С ВЕЛИЧИНОЙ ПРОТОННЫХ ВОЗРАСТАНИЙ

**Л.А. Трефилова, А.В. Белов, И.М. Черток, А.А. Абунин,  
М.А. Абунина, С.П. Гайдаш, И.И. Прямушкина**  
*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения  
радиоволн им. Н.В. Пушкова, Москва, Россия, trefilova@izmiran.ru*

**Научный руководитель: Белов А.В., к.ф.-м.н.**  
*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения  
радиоволн им. Н.В. Пушкова*

В последние годы было показано, что магнитный поток солнечных эрупций, рассчитанный по наблюдениям диммингов и постэруптивных аркад, тесно связан с величиной Форбуш-понижений и силой геомагнитных бурь, являющихся следствием этих эрупций. Поскольку в мощных спорадических событиях наблюдается комплекс взаимосвязанных явлений, включающий вместе с выбросами солнечного вещества эффективное ускорение, естественно ожидать связь магнитного потока эрупций и с величиной протонных возрастаний. В представляемой работе проверяется это предположение. Полный магнитный поток эрупций, а также его составные части, связанные с диммингами и аркадами сопоставляются с протонными событиями для энергий протонов  $>10$  и  $>100$  МэВ, наблюдавшимися на спутниках GOES, и наземными возрастаниями солнечных космических лучей.

# УЛЬТРАЯРКИЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ИСТОЧНИКИ И МОЛОДЫЕ ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ В ЗВЕЗДООБРАЗУЮЩЕЙ ГАЛАКТИКЕ NGC 3256

**Г.С. Усков<sup>1</sup>, А.Ф. Валеев<sup>2</sup>, С.Н. Фабрика<sup>1,2</sup>, А.С. Винокуров<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Казанский федеральный университет, Казань, Россия, uskov.russia@gmail.com*

<sup>2</sup>*Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Россия*

**Научный руководитель: Фабрика С.Н., д.ф.-м.н.**

*Специальная астрофизическая обсерватория РАН*

Используя данные космического телескопа Chandra мы нашли 22 кандидата в ультраяркие рентгеновские источники (ULX) со светимостями больше  $L_x > 10^{39}$  эрг/с во взаимодействующих галактиках NGC 3256. Мы исследовали длиннопериодичную переменность источников, были получены оценки жесткости и спектры для ярких объектов. По данным космического телескопа им. Хаббла и наземного телескопа VLT были определены возрасты скоплений, ассоциирующихся с кандидатами в ULX, которые оказались меньше 10 млн. лет.

# РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА И СОЗДАНИЕ ВИХРЕВОГО СТРУЙНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ ГАЗА

**А.Ю. Усс, А.В. Чернышев**

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

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

*МГТУ им. Н.Э. Баумана*

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 и 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 применения конструкций без подвижных элементов, принцип работы которых основан исключительно на аэрогидродинамических эффектах вихревого течения газа. Вихревые регуляторы давления газа могут функционировать при работе с высокотемпературными и загрязненными газами, что значительно расширяет возможности по их применению.

Первые разработки по данной теме появились в конце 60-х годов XX 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 жидкостного ракетного двигателя (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 по причине отсутствия математических моделей и отлаженных алгоритмов расчета протекающих в них 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 с распределенной подачей питающего и управляющего потоков рабочей среды, на основе методов вычислительной гидрогазодинамики. Результаты расчетно-теоретических исследований рабочих процессов позволили определить основные конструктивные размеры и функциональные параметры, на основе которых разработана

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОСВЕЩЁННОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ТОЧЕЧНЫМИ И РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

**Е.Д. Федорова**

*ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)», Мытищинский филиал, Россия, [elenka.fedorova.9912@list.ru](mailto:elenka.fedorova.9912@list.ru)*

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

*ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)»*

В настоящее время основным осветительным прибором остаётся точечный источник света. В практике исследований часто требуется определить общую, интегральную освещённость источниками различного типа: точечными, линейными и даже объёмными. Например, астрономический датчик системы ориентации космического аппарата заранее настраивается на мощность излучения заданной яркой звезды-ориентира. Однако в процессе работы в поле регистрации астрономического датчика могут попадать области пространства с распределёнными источниками света, например, пылевые облака. Целью работы является разработка методики определения общей освещённости поверхности прибора или любой другой конструкции различными типами источников, как точечными, так и распределёнными линейными, поверхностными и даже объёмными. В распределённых источниках света уже не точка будет испускать световой поток, а отрезок, линия или поверхность, например, будет светиться заданная область пространства. Расчёты показали, что распределённые источники света практически не дают тени, что увеличивает интегральную освещённость приёмника излучения и чувствительность прибора. Аналитический расчёт освещённости от таких источников важен в микроэлектронике при создании приборов со светящимися квантовыми точками, каналами и ямами. Сначала теоретически было изучено освещение поверхности одним точечным источником света. Целью вычислений было определение интегральной мощности световой энергии, падающей перпендикулярно поверхности. Касательная составляющая падающих лучей света не учитывалась, исключалась из рассмотрения в соответствии с законами фотометрии. В результате с помощью справочника была получена формула для расчёта интегральной мощности световой энергии, падающей на поверхность [1,2]. Затем был рассмотрен случай размещения четырёх точечных источников света в углах над квадратной поверхностью. Для освещения приёмника излучения вторым способом была получена другая формула для расчёта интегральной мощности световой энергии от четырёх точечных источников, падающей на квадратную поверхность. Третий вариант заключался в освещении квадрата линейным равномерно распределённым источником излучения. Сравнительный анализ трёх способов освещения поверхности квадрата позволил сделать главный вывод: в настоящее время есть смысл изучить возможность учёта особенностей освещения от точечных источников и распределённых, причем не только линейных, но и поверхностных и даже объёмных, чтобы повысить чувствительность регистрирующей оптической аппаратуры [3]. Начато изучение распределённых поверхностных источников света.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Интегралы и ряды. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. – 800 с.

2. Библиотека светотехника. Вып.1-32. – М.: Изд. «Энергия», 1977-2014.
3. Фёдорова Е.Д. Методика расчёта освещённости поверхности точечными и распределёнными источниками света / Наука и инновации в технических университетах: Материалы Двенадцатого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых учёных, 24-26 октября 2018 г. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. - 181 с. - ББК 30.1 Н 34 - Секция «Физические науки». - С.127-129.

# ОБНАРУЖЕНИЕ БЫСТРЫХ РАДИОВСПЛЕСКОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ ГАЛАКТИК М 31 И М33

**В.А. Фёдорова, А.Е. Родин**

*ПРАО АКЦ ФИАН, Москва, Россия, fedorova-astrofis@mail.ru*

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

*ПРАО АКЦ ФИАН*

Исследование быстрых радиовсплесков — это одна из наиболее актуальных тем исследования в астрофизике. Это направление начало активно развиваться с 2007 г., когда впервые в архивных данных был обнаружен единичный импульс FRB 010724. В 2018 г. в каталог FRB было занесено более пятидесяти импульсов с похожими характеристиками. Например, все события имеют большую меру дисперсии (от  $176 \text{ пк/см}^3$  до  $\sim 2700 \text{ пк/см}^3$ ) и небольшую пиковую плотность потока. В настоящее время импульсы регистрируются в диапазоне от 1.4 ГГц до 111 МГц. Несмотря на большой список событий, их природу до сих пор не удалось установить. Но известно, что область, в которой был сгенерирован самый известный FRB 111202, находится в месте активного звездообразования в неправильной карликовой галактике. Следует отметить, что еще в 70-х годах делались попытки зарегистрировать импульсы из близлежащих галактик. В 2012 г. вышло сообщение о том, что удалось зафиксировать импульс из галактики М 31.

С учетом всех факторов нами было решено проанализировать ближайшие галактики М31 и М33 на предмет поиска событий типа FRB. Проводилась обработка данных с радиотелескопа БСА ФИАН, центральная частота которого 111 МГц, а полоса приема 2.5 МГц. Данные записывались в шести частотных каналах по 415 кГц каждый с временным разрешением 0.1 сек. Наблюдения проводились в период с 2012 г. по 2018 г. Поиск импульсов состоял из нескольких этапов, которые включали в себя свертку данных с шаблоном заданной формы, свертку с пробной мерой дисперсии и визуальный анализ результатов.

В ходе работы было обнаружено восемь новых быстрых радиовсплесков в окрестностях галактик М 31 и М 33. Все результаты и оценки параметров импульсов будут представлены в рамках доклада.

# МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ДВУСЛОЙНОЙ МЕЛКОЙ ВОДЫ ДЛЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ПЛАЗМЫ. ТРЕХВОЛНОВЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛН РОССБИ

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

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт, Москва, Россия, *fedotova.maria.04@gmail.com*

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

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

ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

Магнитогидродинамическая теория мелкой воды играет важную роль в описании крупномасштабных процессов во вращающихся течениях астрофизической плазмы. Течения в плазменной астрофизике, так же как течения в геофизике, как правило являются стратифицированными. Именно изучению фундаментальной роли стратификации в течениях астрофизической плазмы посвящена данная работа. В работе исследуются вращающиеся магнитогидродинамические течения тонкого стратифицированного слоя плазмы в поле тяжести со свободной границей во внешнем вертикальном магнитном поле. Получены магнитогидродинамические уравнения в приближении двуслойной мелкой воды во внешнем магнитном поле при разбиении плазмы на два слоя различной плотности. В приближении бета-плоскости получена система уравнений мелкой воды для вращающейся стратифицированной плазмы во внешнем магнитном поле. Для стационарных решений в виде вертикального или горизонтальных магнитных полей развита линейная теория и найдены решения в виде волн магнито-Россби и поправок к ним, описывающим эффекты стратификации. Качественный анализ дисперсионных кривых показывает наличие трехволновых нелинейных взаимодействий магнитных волн Россби для каждого из стационарных состояний. Показано существование параметрических неустойчивостей и найдены их инкременты.

# АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ СПЕКТРОВ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЗАДАЧАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АКВАТОРИЙ

**А.С. Филатова<sup>1,2</sup>, И.Н. Садовский<sup>1</sup>**

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

*<sup>2</sup>Московский физико-технический институт, Москва, Россия,  
anastasiyafilatova98@mail.ru*

**Научный руководитель: Садовский И.Н., к.ф.-м.н.**  
*ФГБУН Институт космических исследований Российской  
академии наук (ИКИ РАН)*

В докладе проведен анализ современных и первоначальных моделей спектров ветровых гравитационно-капиллярных волн. Разработаны алгоритмы вычисления функции спектра кривизны в соответствии с этими моделями для различных значений скорости ветра в длинноволновом и коротковолновом диапазоне. Проанализирована связь между исследуемой величиной и параметром разгона, вязкостью водной среды, поверхностным натяжением. Проанализированы общие соотношения, связывающие интенсивность излучения периодически неровной водной поверхности с интенсивностью ее излучения в микроволновом диапазоне. Проведено сравнение основных характеристик рассмотренных моделей с целью выбора аналитической формы спектра, обеспечивающего наилучшую сходимость результатов экспериментальных данных с модельными оценками.

# РАЗРАБОТКА НОВОЙ МЕТОДИКИ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗА МАГНИТНЫХ БУРЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**М.Л. Фридман<sup>1</sup>, О.В. Хабарова<sup>2</sup>, Т.Г. Когай<sup>3</sup>, О.В. Мингалев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», факультет физики,  
Москва, Россия, lapinbank@gmail.com*

<sup>2</sup>*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения  
радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Москва, Троицк, Россия,  
olik3110@gmail.com*

<sup>3</sup>*Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия,  
mingalev\_o@pgia.ru*

Успех современных краткосрочных прогнозов магнитных бурь (с временем опережения события от 30 минут до 3-х часов) базируется на около-часовой задержке времени прихода геоэффективных потоков к магнитосфере Земли по отношению к распространению сигнала от космического аппарата в 1-й Лагранжевой точке до Земли. При этом известно, что во временном масштабе «минуты», магнитосфера наиболее чувствительна к южному направлению межпланетного магнитного поля и скорости солнечного ветра. На данный момент задачу краткосрочного прогноза можно считать решенной.

Однако существует проблема среднесрочного прогнозирования геомагнитных бурь в диапазоне от трех часов до трёх дней. Официальные источники NOAA подтверждают, что качество среднесрочного прогноза, использующего те же прогностические признаки, что и для построения краткосрочного прогноза, оставляет желать лучшего. Возникает потребность (а) в поисках предвестников геоэффективных потоков путем анализа параметров межпланетной среды и понимания процессов, предшествующих магнитным бурям и (б) в автоматическом поиске паттернов. Первая задача была решена довольно давно (Khabarova 2007; Khabarova & Yermolaev, 2007) и доработана в последние годы (Kogai, Khabarova, Mingalev, 2018), в то время как задача автоматизации процесса остается актуальной.

Предложена новая методика среднесрочного прогноза магнитных бурь, основанная на использовании рекуррентных нейронных сетей (Recurrent Neural Network, RNN). Возможность обучения, извлечения глубоких нелинейных закономерностей и паттернов – основное преимущество глубоких нейронных сетей перед традиционными способами Machine learning и математическими алгоритмами.

RNN – система специальных конфигураций нейронных сетей, позволяющая работать с последовательностями данных, предсказывать временные ряды.

Задача состояла в получении прогноза начала магнитных бурь различной природы, как с внезапным, так и с плавным началом, с плавающим алертом типа «скоро будет буря». Заблаговременность алерта - от трех суток до нескольких часов. Сети обучались по вариациям плотности, производной концентрации по времени, плазменному параметру бета и потоку энергичных частиц от долей МэВ до нескольких МэВ. Обучение проводилось на массивах исторических данных с разрешением 1 минута. Для выявления паттернов и выдачи алерта применялись сети глубокой конфигурации со слоями LSTM (Long Short-Term Memory) и слоями управляемых рекуррентных блоков GRU (Gated Recurrent Unit).

Основное отличие RNN от классических нейронных сетей заключается в том, что в LSTM- и GRU-ячейках есть дополнительные узлы (помимо собственно скрытого состояния нейрона), позволяющие им работать с «эффектом памяти», передавать состояние системы в предыдущий момент времени.

В докладе будут представлены первые результаты среднесрочного прогноза, базирующегося на методике, описанной выше.

# ВОЗМОЖНОСТЬ НАБЛЮДЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ БЫСТРЫХ РАДИОВСПЛЕСКОВ НА СРГ/ЕРОЗИТА

**А.Д. Хохрякова<sup>1</sup>, Д.А. Ляпина<sup>1</sup>, С.Б. Попов<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>Физический факультет МГУ, Москва, Россия, [alenaohryakova@yandex.ru](mailto:alenaohryakova@yandex.ru)

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

<sup>3</sup>НИУ Высшая Школа Экономики, Москва, Россия

**Научный руководитель: Попов С.Б.**

Физический факультет МГУ, Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ, НИУ Высшая Школа Экономики

Быстрые радиовсплески (FRB) - это одиночные импульсы радиоизлучения с высокой яркостной температурой. Одной из наиболее перспективных гипотез о природе FRB являются гипервспышки магнитаров. Важным предсказанием этой модели является одновременный импульс излучения от FRB в рентгеновском и гамма-диапазонах. В данной работе исследуется возможность регистрации этого жесткого излучения с помощью рентгеновского телескопа eРОЗИТА. Это позволит проверить или наложить ограничения на модель гипервспышек. eРОЗИТА (extended ROentgen Survey with an Imaging Telescope Array) является основным инструментом миссии Спектр-Рентген-Гамма. eРОЗИТА выполнит исследование всего неба в рентгеновском диапазоне. Мы рассмотрели возможность одновременного детектирования FRB на наземных телескопах и гипервспышек с помощью eРОЗИТА. Известно, что на всем небе происходит порядка нескольких тысяч вспышек в день. Ожидается, что в ближайшем будущем HIRAX и CHIME смогут детектировать до нескольких десятков вспышек в день. Таким образом, за год наблюдений в поле зрения eРОЗИТА будет попадать один FRB, зарегистрированный одной из наземных установок. Мы рассмотрели две модели спектров гипервспышек: планковский и степенной, для которых построили зависимость полного энергосодержания объекта от расстояния, исходя из предположения, что для надежной регистрации вспышки необходимо 10 фотонов. При оптимистичных предположениях зарегистрировать вспышку с характерным энергосодержанием  $10^{46}$  эрг eРОЗИТА сможет на расстояниях порядка десятков Мпк.

# ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ РАДИОИМПУЛЬС С ХАОТИЧЕСКОЙ НЕСУЩЕЙ НА МЕЖПЛАНЕТНОЙ ТРАССЕ

**Ю.С. Худышев**

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

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

*Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН*

Одним из направлений развития систем связи различного назначения является работа с импульсными сигналами, характеристики (амплитуда, частота, фаза) которых изменяются во времени случайным образом (хаотически). Такие сигналы обладают широкими спектрами, что позволяет, в том числе, увеличивать скрытность и помехозащищенность работы систем, и имеют ряд других преимуществ по сравнению с регулярными сверхширокополосными сигналами.

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 искажений прямоугольного радиоимпульса с хаотической несущей, которые могут сопровождать его распространение в бесстолкновительной плазме на трассах, интегральные электронные содержания (ТЕС) которых характерны для межпланетных расстояний. Скачки несущей моделируются на основе отображения Чебышева первого рода третьего порядка.

Показано, что в процессе распространения прямоугольная огибающая излученного импульса постепенно трансформируется к шумоподобному виду, когда её величину в заданные моменты времени по предыдущим значениям указать не представляется возможным даже предположительно. При этом вид авто- и частотной корреляционных функций деформированного импульса аналогичен виду соответствующих функций случайного процесса, характеризующего единственным узким максимумом.

Построены гистограммы распределений высот огибающей деформированного импульса в зависимости от параметров задачи (ТЕС и девиации несущей) и рассмотрена возможность их аппроксимации на основе отраженного нормального распределения (распределения модуля нормальной случайной величины).

# МЕХАНИЗМ БЫСТРОГО СТОКА МЕТАНА НА МАРСЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

А.К. Павлов<sup>1</sup>, Д.А. Цурков<sup>1,2</sup>, А.А. Павлов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Planetary Environments Laboratory, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, USA, d.tsurkov@me.com

**Научный руководитель: Павлов А.К., к.ф.-м.н., доцент**  
ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Проблема быстрой вариации содержания метана в атмосфере Марса является одной из наиболее интересных и широко обсуждаемых проблем в исследованиях планеты, так как молекулы метана могут являться следами потенциальной биосферы. Относительная концентрация метана очень мала (порядка ppbv) и демонстрирует широкие вариации (0.1-10 ppbv) в зависимости от региона и от сезона. Измерения, проводимые миссией MSL в течении последних лет, показывают высокие колебания концентрации метана в атмосфере на поверхности Марса.

Такие наблюдения противоречат общепринятому в настоящее время моделированию Марсианкой атмосферы. Согласно фотохимической модели, время жизни молекул метана в атмосфере — порядка 350 лет [1]. Время глобального перемешивания атмосферы — порядка одного марсианского года. Следовательно, даже если предположить наличие локальных и переменных во времени источников метана на поверхности [2], чтобы объяснить наблюдаемые вариации, необходим дополнительный быстрый механизм стока.

В данной работе мы рассматриваем ионизацию атмосферы Марса космическими лучами и последующие ионно-молекулярные реакции в атмосфере как возможный процесс быстрого разрушения метана. Наши расчёты позволяют сократить время жизни метана (по сравнению с фотохимической моделью) более чем в 10 раз. Кроме того, мы демонстрируем корреляцию скорости потери метана с временами года.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Krasnopolsky, V. A., Maillard, J. P., & Owen, T. C. Detection of methane in the martian atmosphere: evidence for life? //Icarus 2004 n. 172, p.537-547. doi:10.1016/j.icarus.2004.07.004
2. Mumma, M. J., et al. Strong Release of Methane on Mars in Northern Summer 2003 //Science 2009, n. 323, p. 1041–1045. doi:10.1126/science.1165243

конструкция вихревого регулятора давления газа с распределенной подачей питающего и управляющего потока рабочей среды, а также с регулированием закрутки питающего и управляющего потоков.

С применением аддитивных технологий изготовлен экспериментальный образец вихревого регулятора давления газа. Результаты экспериментальных исследований подтвердили работоспособность конструкции.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Залманзон Л.А. Теория элементов пневмоники. М.: Наука, 1969, 508 с.
2. Лебедев И.В., Трескунов С.Л., Яковенко В.С. Элементы струйной автоматики. М.: Машиностроение, 1973, С. 289-314.
3. Бугаенко В.Ф. Пневмоавтоматика ракетно-космических систем. М.: Машиностроение, 1979, 168 с.
4. Белова О.В., Стародубцев А.А., Чернышев А.В. Расчет вихревого регулятора давления газа. Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 5. URL: <http://engbul.bmstu.ru/doc/740398.html>.
5. Белова О.В., Стародубцев А.А., Чернышев А.В. Вихревой регулятор давления газа. Инженерный журнал: инженерный вестник, 2014, вып. 10. URL: <http://engjournal.ru/articles/760/760.pdf>.
6. Усс А.Ю., Чернышев А.В. The Development of the Vortex Gas Pressure Regulator. - Procedia Engineering , 2016. v.152. pp. 380-388

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРОФИЛЯ ПЛОТНОСТИ ТРОПОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ МИКРОВОЛНОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

**Е.В. Шаркова**

*Московский физико-технический институт, Москва, Россия,  
sharkova.lena.97@mail.ru*

**Руководитель: Пашинов Е.В.**

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

Дистанционным зондированием земли в широком смысле называется получение информации об объекте без непосредственного вступления с ним в контакт. При этом регистрирующий прибор должен быть расположен на значительном расстоянии от изучаемого объекта. В более узком - это наблюдение за атмосферой и земной поверхностью с помощью электромагнитного излучения. Именно последнее представляет наибольший интерес и будет рассмотрено в данной работе. Вышеназванное направление можно охарактеризовать как исследование параметров окружающей среды. Например, для земной поверхности это температура, влажность почвы, альbedo, тектонические движения, природа поверхности и др. Для атмосферы, помимо температуры, можно выделить осадки, скорость и направление ветра, концентрацию водяных паров и других газов, распределение облаков и их тип. Говоря более детально, например, об атмосфере над океаном, возможно также рассмотреть топографии и спектра энергии волн. Данный перечень является далеко не полным, но даже он наглядно демонстрирует всю широту применения дистанционного зондирования Земли. ДЗЗ обладает рядом важнейших преимуществ. Во-первых, возможность накопления за короткие временные промежутки данных об обширных слоях атмосферы и областях земной поверхности. Во-вторых, применение в ситуациях, связанных с затруднением или невозможностью получения измерений по тем или иным причинам. В большинстве случаев данные, полученные посредством дистанционного зондирования, крайне важны для различных областей исследований и не могут быть получены иным способом. Как было сказано выше, информацию об атмосфере и поверхности Земли в ДЗЗ получают при помощи электромагнитного излучения, которое приходит либо от пассивных, либо от активных систем дистанционного зондирования. К пассивным относятся системы, регистрирующие естественное излучение от исследуемого объекта. Они, в свою очередь, делятся на те, что регистрируют солнечное излучение, и те, что регистрируют тепловое излучение объектов, температура которых выше абсолютного нуля. Для земной поверхности характерно тепловое излучение в инфракрасной части спектра, хотя регистрируются излучения с длинами волн вплоть до микроволновой части спектра. Данная работа будет выполнена именно в этом диапазоне. Микроволновая диагностика имеет очень много достоинств: изотропность от солнечной электропередачи, просторный погодный охват, шанс получения данных во всякое время суток. Однако, принципиальная значимость введения радиофизических методов в дистанционное зондирование лежит в несколько иной плоскости: с одной стороны, в дифракционной природе сотрудничества электромагнитных волн микроволнового охвата с шероховатыми

элементами земной поверхности и с дисперсными метеоструктурами в земной атмосфере, а с другой, - с особенностями квантового излучения и поглощения газовых составляющих земной атмосферы в микроволновом охвате, в приближении Рэля-Джинса. В последнее время вопрос, относящийся к изучению природных явлений, резких климатических изменений, которые непосредственно связаны с атмосферой Земли, становится все более актуальным. Любые, даже небольшие, отклонения от климатической нормы приводят к катастрофическим последствиям для людей и живой природы: цунами, торнадо, парниковый эффект, выпадение снега или зной в несвойственных для этого зонах – все это лишь несколько примеров последствий климатических изменений. Ключевым фактором, оказывающим влияния на изменение климата, является перенос тепла и влаги в системе океан-атмосфера, которая рассматривается в данной работе. В свою очередь, изучение и постоянный мониторинг данной системы позволяет изучить и, как следствие, осуществить прогноз различных природных катаклизмов, обусловленных тепловыми и влажными потоками в атмосфере и их изменениями. Наиболее информативным способом определения параметров переноса тепла и влаги в системе океан-атмосфера является построение профиля распределения плотности тропосферы посредством пассивного микроволнового зондирования Земли, используя нейросетевые алгоритмы. В результате проведенного исследования нами были разработаны нейросетевые алгоритмы восстановления профиля распределения плотности тропосферы Земли по данным пассивного микроволнового зондирования из космоса; осуществлено исследование приборов и методов, находящихся в наличии и разрешающих обозначенную задачу; рассмотрены главные соотношения, применяющиеся для описания теплового излучения атмосферы Земли; опираясь на существующую модель излучения, выполнено моделирование радиометрических измерений любой из актуальных космических миссий (выполнение решения прямой задачи ДЗЗ); изучена общепризнанная теория построения нейронных сетей; опираясь на результаты решения прямой задачи, предложена нейронная сеть, которая позволяет с наименьшими погрешностями восстанавливать профиль распределения плотности тропосферы Земли.

# ИЗУЧЕНИЕ ЗАРЯДКИ ПЫЛЕВОЙ ЧАСТИЦЫ В ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ С НЕРАВНОВЕСНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРОНОВ

Г.Н. Шиникулова

Казахский Национальный университет имени аль-Фараби,  
gulnur.shynikulova@gmail.com

**Научный руководитель:** Нұрғалиева Қ.Е., к.ф.-м.н., доцент  
Казахский Национальный университет имени аль-Фараби

Кинетика зарядки пылевых частиц в немаксвелловской-лоренцевой плазме на сегодняшний день представляет огромный интерес [1-3].

В работе исследована зарядка пылевой частицы в неравновесной ионосфере. Расчеты проводились для ионосферной плазмы на высотах 85 км с температурой 1500 К и концентрацией электронов и ионов около  $10^{10} \text{ м}^{-3}$ . Частота ионов составляет около  $10^5 \text{ с}^{-1}$ . Предполагается, что все пылевые частицы одного размера и составляет около 10 нм. Для моделирования зарядки пылевых частиц была использована теория OML.

## ЛИТЕРАТУРА

1. W A.Scales and A. Mahmoudian, «*Charged dust phenomena in the near-Earth space environment*», Rep. Prog. Phys. 79 (2016) 106802 (31pp)
2. S. K. Mishra, Sh.Misra, and M.S.Sodha. «*Charging kinetics of dust particles in a non-Maxwellian Lorentzian plasma*», Eur. Phys. J. D (2013) 67: 210
3. Nurgaliyeva K.E., Ramazanov T.S., Popel S.I. «*The charging of dust particles in ionospheric plasma with non-Maxwellian electrons*», PNP, 24-28 September, (2018), (112)

# МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ ОПУСТЫНИВАНИЯ НА ЧЕРНЫХ ЗЕМЛЯХ

С.С. Шинкаренко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Россия, [shinkarenkos@vfanс.ru](mailto:shinkarenkos@vfanс.ru)

<sup>2</sup>Волгоградский государственный университет, Волгоград, Россия

Черные земли представляют собой обширные пространства общей площадью 35 тыс. км<sup>2</sup>, на юго-востоке Республики Калмыкия, южном правобережье Астраханской области и крайнем севере Республики Дагестан. Они граничат с Кизлярскими пастбищами, которые расположены в северной части Республики Дагестан. В результате длительных чрезмерных антропогенных нагрузок в экстремальных климатических условиях этот регион из плоской степной равнины с устойчивым травянистым покровом превратился к 80-м годам прошлого века в подвижное песчаное море, лишённое растительности и непригодное для сельского хозяйства. Процессами опустынивания было затронуто более 80% территории Калмыкии, из них около трети находилось в сильной и очень сильной степени деградации. С принятием в 1986 году «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ» началась работа по фитомелиорации подвижных песков, которая позволила остановить их наступление.

В работе представлены результаты картографирования очагов опустынивания на Черных землях с 1978 по 2018 годы. Геоинформационная обработка осуществлялась в программе QGIS 3.2, основой послужили спутниковые данные Landsat. Открытые пески выделялись классификацией индексных изображений NDVI, после чего векторизовались. Определены площади открытых песков, возраст очагов опустынивания на 2018 год, площади заросших и вновь образовавшихся очагов.

В начале 1980-х годов площадь подвижных песков на Черных землях достигла 3,5 тыс. км<sup>2</sup>, в регионе был объявлен режим экологического бедствия. Начиная с 1990 года, стал ощутим положительный эффект пескозакрепительных и фитомелиоративных работ, начатых в конце 80-х годов в рамках Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием. Кроме фитомелиорации на улучшение состояния растительности и почв повлияло снижение поголовья скота, вызванное экономической ситуацией 90-х годов и благоприятная для вегетации флуктуация климата. В настоящее время наблюдается восстановление поголовья скота до величин 80-х годов XX века, что вызывает новый цикл опустынивания Черных земель: на 2018 год площадь подвижных песков превысила 600 км<sup>2</sup> (против 160 км<sup>2</sup> в 2002 г.), что соответствует площадям опустынивания 1993-1995 годов. Рост площади открытых песков связан в первую очередь не с разрастанием существующих очагов, а образованием новых. Например, в 1995 году было 11419 массивов открытых песков средней площадью 3,5 га, в 2018 году наблюдается более 19 тысяч очагов средней площадью 2,6 га. До 1990-х 40-60% подвижных песков были представлены очень крупными массивами площадью более 1000 га, в настоящее время преобладают очаги опустынивания до 100 га, что говорит о возможности нового «всплеска» процессов деградации в регионе. По этой причине необходим мониторинг состояния неустойчивых ландшафтов для своевременного принятия мер по их фитомелиорации и регулированию пастбищных нагрузок. Данные дистанционного зондирования и геоинформационные технологии подходят для этих целей лучше всего.

# ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АНОМАЛИЙ ГОРЯЧЕГО ПОТОКА У МАРСА

**С.Д. Шувалов<sup>1</sup>, В.Н. Ермаков<sup>1</sup>, В.О. Зорина<sup>2</sup>, О.Л. Вайсберг<sup>1</sup>, К.И. Ким<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup>Московский Физико-Технический Институт, Москва, Россия

<sup>3</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

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

Аномалия горячего потока (АГП) представляет собой образование в плазме, наблюдающееся в окрестности линии пересечения ударной волны и токового слоя. Это образование характеризуется низкой концентрацией и высокой температурой плазмы в центральной части, и высокой плотностью и температурой во внешней области. В этом горячем плазменном образовании выделяется так много энергии, что оно может двигаться навстречу потоку солнечного ветра.

Будучи достаточно хорошо изученными у Земли, эти явления практически не исследовались на других планетах. Первое возможное свидетельство наличия этих структур на Марсе было получено по наблюдениям на спутнике MGS в [Øieroset и др., 2001], однако, из-за отсутствия спектрометра ионов на космическом аппарате невозможно было сделать однозначный вывод о принадлежности обнаруженной структуры именно к АГП.

С конца 2014 года на орбите Марса впервые функционирует космический аппарат MAVEN, оснащенный магнитометром и комплексом приборов для измерения плазмы с высоким временным и угловым разрешением, что открывает возможность идентификации АГП на Марсе и подробного изучения их структуры и характеристик. На текущий момент имеется всего одна работа, посвященная наблюдению АГП на спутнике MAVEN, в которой проведен анализ характеристик одного события [Collinson и др., 2015].

В докладе представлен статистический анализ характеристик распространения АГП у Марса на основании 23 событий, зарегистрированных спутником MAVEN. На основании количества зарегистрированных событий сделан вывод о том, что данный тип форшок-транзиентов является типичным для Марса и встречается приблизительно  $0,74 \pm 0,33$  раза в день.

Минимальный оцененный размер АГП у Марса составил 0,19 радиусов Марса; верхняя оценка этой величины затруднена в связи с неоднозначностью в определении границ развитых событий. Скорость распространения наблюдавшихся структур была рассчитана как скорость движения линии пересечения плоскости токового слоя, образовавшего аномалию, с марсианской головной ударной волной (аналогично [Schwartz et al., 2000]). Будучи зарегистрированными на солнечно-зенитных углах  $53^\circ - 77^\circ$ , практически все события распространяются в антисолнечном направлении, что явилось основанием предположения о том, что АГП имеют тенденцию к формированию вблизи подсолнечной точки.

Используя данные о скорости распространения АГП и предположение о том, что они формируются в области с солнечно-зенитным

углом, близким к  $0^\circ$ , был оценен возраст каждой АГП в момент её регистрации. Видимых закономерностей между размером и возрастом АГП обнаружено не было, что находится в соответствии с проведенным ранее исследованием АГП у Земли, в котором было показано, что АГП могут расширяться, сужаться или быть стабильными [Xiao et. al, 2015].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Øieroset, M., D. L. Mitchell, T. D. Phan, R. P. Lin, and M. H. Acuña (2001), Hot diamagnetic cavities upstream of the Martian bow shock, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 887–890.
2. Collinson, G., et al. (2015), A hot flow anomaly at Mars, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 9121–9127, doi:10.1002/2015GL065079.
3. Schwartz, S. J., G. Paschmann, N. Sckopke, T. M. Bauer, M. Dunlop, A. N. Fazakerley, and M. F. Thomsen (2000), Conditions for the formation of hot flow anomalies at Earth's bow shock, *J. Geophys. Res.*, 105(A6), 12,639–12,650, doi:10.1029/1999JA000320.
4. Xiao, T., et al. (2015), Propagation characteristics of young hot flow anomalies near the bow shock: Cluster observations, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 120, 4142–4154, doi:10.1002/2015JA021013.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНОСОВ РЕЧНЫХ И ЛАГУННЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ “SEE THE SEA”

**М.С. Щеголихина**

*Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова, факультет космических исследований,  
Москва, Россия*

**Научный руководитель: Лаврова О.Ю., к.ф.-м.н., доцент**  
*ФГБУН Институт космических исследований Российской  
академии наук (ИКИ РАН)*

На основе комплексного анализа архивных и оперативных спутниковых данных, полученных в видимом диапазоне электромагнитного спектра с помощью сенсоров MSI Sentinel-2A, -2B, OLI Landsat-8 и ETM+Landsat-7, были составлены описания основных морфологических типов речных плюмов в Азовском и Балтийском морях. Выявлялась зависимость морфометрических характеристик и особенность конкретных плюмов от скорости и направления ветра, речного стока. Получены подробные характеристики пространственно-временной изменчивости проявления плюмов реки Кубани, выносов из Вислинского и Куршского заливов на основе анализа как оперативных данных за 2018 г., так и на основе архивных данных, полученных за 2015-2017 гг.

Результаты, полученные для выносов реки Кубань и лагунных вод из Куршского и Вислинского залива, представляют собой особый интерес, поскольку такие исследования ранее никем не проводились. Оперативные данные за 2018 г. показали, что картина существенно не изменилась по сравнению с предыдущими периодами. Выявлено, в частности, что морфологические типы плюмов р. Кубань слабо зависят от направления ветра. Основное влияние на их формирование оказывает величина стока, которая в свою очередь зависит от сброса воды на Краснодарском водохранилище. Сопоставление данных о дате сброса и его величине и о проявлении плюмов р. Кубань в виде протяженных струй показало, что влияние сброса сказывается через 3-7 дней в зависимости от величины сброса.

В работе проведено исследование зависимости аномалии уровня в Куршском заливе на площадь выноса его вод в Балтийское море. Аномалии уровня определялись по данным спутниковых альтиметров Jason-1 и Jason-2. Выявлена прямая зависимость площади выноса от изменения аномалии уровня.

На основе многосенсорного подхода, заключающегося в использовании спутниковых радиолокационных данных и данных видимого и ИК-диапазонов электромагнитного спектра, выявлялись случаи проявлений гидродинамических процессов, таких как внутренние волны и вихревые структуры, в районах влияния речного стока.

Был написан программный код, позволяющий, используя данные с буев Арго, строить траектории прохождения данных буев в Акватории Черного моря в устье реки Черохи, который в дальнейшем будет интегрирован в информационную систему “See The Sea”.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России – М.:ИКИ РАН, 2011 – 480с.
2. Архив погоды в г. Темрюк, ст. Варениковской, г. Краснодар. Электронный ресурс. URL: <https://rp5.ru/> [дата обращения: 28.11.17]
3. Информационная система SEE THE SEA. Электронный ресурс. URL: <http://ocean.smislab.ru/>
4. Данные альтиметрии. Электронный ресурс: URL: <https://podaac.jpl.nasa.gov/> [дата обращения: 16.05.2018]

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УКЛАДКИ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ТОРМОЖЕНИЯ НАНОСПУТНИКОВ CUBESAT ДЛЯ СХОДА С НИЗКИХ ОКОЛОЗЕМНЫХ ОРБИТ

**А.Д. Юдин**

АО «НПО Лавочкина», Москва, Россия, yudin@iaspace.ru

**Научный руководитель: Сысоев В.К., д.т.н.**

АО «НПО Лавочкина»

Проблема засорения околоземного космического пространства отработавшими свой срок и/или вышедшими из строя космическими аппаратами (КА) является одной из актуальных на сегодняшний день в космической отрасли.

Для решения этой проблемы было предложено разработать устройство аэродинамического торможения наноспутников типа CubeSat для быстрого увода с околоземной орбиты после окончания эксплуатации или при возникновении нештатной ситуации (*Предложение по созданию устройства для схода наноспутников CubeSat с низких околоземных орбит // Вестник «НПО им. С.А. Лавочкина», №3, 2017*).

Для увода космического аппарата с орбиты был выбран метод деробитинга с помощью аэродинамического тормозного устройства в виде сферической оболочки из металлизированной полимерной плёнки толщиной 5÷12 мкм, как один из перспективных и технически реализуемый способ.

При проектировании данного устройства было определено, что оболочка в транспортном положении должна быть уложена в капсулу объемом меньше 1 литра.

Для решения этой задачи был разработан алгоритм укладки сферической оболочки на модели масштабom 1:4. Изготовление образца было произведено по ранее предложенной схеме – вырезание 12 лепестков и их склейка между собой стык в стык.

Заполнение материалом пленки составило 28,6% с присутствием остаточного газа между слоями, чтобы не допустить слипания материала. Были проведены оценочные расчеты, что шар примет свою форму на высоте 500 км в космическом пространстве за счет остаточного газа между слоями и начнется аэродинамическое торможение наноспутника. А также было установлено, что разница между давлениями, которая создает силу, способную разрушить материал плёнки, на порядок меньше чем значение с экспериментально полученной силой разрушения материала пленки.

Окончательная конфигурация будет установлена только по результатам натурных испытаний с учетом максимально достижимой безопасной плотности укладки шара.

# ОЦЕНКА НОРМАЛИЗОВАННЫХ РАЗНОСТНЫХ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКАХ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ХРАНЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ДОНБАССЕ

**В.В. Юрченко, А.В. Несова, Н.С. Шестакин**

*Донецкий национальный университет, Донецк, Украина,  
vika.yurchenko.donnu@mail.ru*

**Научный руководитель: Недопекин Ф.В., д.т.н., профессор**  
*Донецкий национальный университет*

«Атлас угля – 2015», составленный Фондом Генриха Белля (Германия), указывает на Донбасс как на крупнейший бассейн в Европе, где можно хранить диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) в геологических структурах для смягчения последствий глобального изменения климата. Возможный потенциал геологического хранения  $\text{CO}_2$  оценивается величиной от 45,7 до 428,3 млрд. тонн, что значительно превышает объемы выбросов  $\text{CO}_2$  предприятий Донбасса.

В рамках европейского проекта были выделены 8 перспективных участков хранения  $\text{CO}_2$  на территории Донбасса с учетом геологического строения, промышленной и газотранспортной инфраструктуры, демографической и географической ситуаций, а также оценено вероятное влияние утечек  $\text{CO}_2$  из этих перспективных участков хранения на поверхностные и подземные воды, растительность и почвы. При закачке и геологическом хранении  $\text{CO}_2$  реализуются три главных сценария утечек сверхкритического  $\text{CO}_2$  из мест долгосрочного хранения:

- утечка из-за недостаточной герметичности породы-покрышки – это медленный процесс, который обычно будет заканчиваться минерализацией  $\text{CO}_2$  по пути утечки;
- утечка по старым и новым скважинам, стволам и штрекам – эти процессы легко отслеживаются и предотвращаются;
- утечка через существующие разломы и трещины в горных пластах – при этом выходят на поверхность значительные объемы  $\text{CO}_2$  и других газов, в том числе метана и радона.

При утечке  $\text{CO}_2$  из геологических хранилищ часть газа будет непосредственно уходить в атмосферу и создавать проблемы для населения расположенных на этих участках населенных пунктов, по пути утечек частично флюид и газ будут вступать в химические реакции с другими газами и горными породами, что будет приводить к минерализации  $\text{CO}_2$  и исключения его из потока утечки, а некоторая часть вышедшего на поверхность  $\text{CO}_2$  будет поглощаться растительностью на этой территории. При этом степень поглощения  $\text{CO}_2$  будет зависеть от плотности биомассы на данной площади.

Количество биомассы на перспективных участках геологического хранения  $\text{CO}_2$  определялась методами дистанционного зондирования Земли по значениям нормализованных разностных вегетационных индексов NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), которые характеризуют степень поглощения  $\text{CO}_2$  растительностью на этих участках. Участки № 1-8 имеют следующие средние значения индекса NDVI = 0,20; 0,25; 0,15; 0,05; 0,25; 0,03; 0,30; 0,04. Чем

больше среднее значение NDVI, тем выше поглощающая способность данного участка, то есть участок № 7 наиболее перспективный для геологического хранения CO<sub>2</sub> в Донбассе.

Оценка значений индексов NDVI на перспективных участках геологического хранения CO<sub>2</sub> выполнена путем цифровой обработки снимков с космического аппарата Landsat 7 красного и инфракрасного спектральных каналов со следующими значениями сенсоров (NIR: 0,75-0,90 мкм) и (RED: 0,63-0,69 мкм), полученных с помощью сервиса Landsat Look Viewer, а вычисления проведены в среде MATLAB по алгоритму, где использовались маски контуров потенциальных участков геологического хранения CO<sub>2</sub>, полученные в сервисе Google Earth Pro.