



XVII КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ, ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ КОСМОНАВТИКИ
**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ
КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**
Москва, 30 сентября - 02 октября 2020 г.

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Под редакцией
А.М. Садовского

Проведение Конференции поддержано грантом РФФИ,
проект 20-02-20015

Серия «Механика, управление и информатика»

ИКИ
Москва
2020

**XVII Конференция молодых ученых
"Фундаментальные и прикладные
космические исследования",
посвященная Дню космонавтики**

**ИКИ РАН, Москва, 30 сентября — 02 октября 2020 г.
Сборник тезисов докладов**

Под ред. А.М. Садовского

XVII Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования» (сайт конференции <http://kmu.cosmos.ru>), посвященная Дню космонавтики (КМУ), должна была традиционно пройти в районе апреля, но Covid-19 изменил все планы, Конференцию пришлось перенести на конец июня, но, видимо, члены оргкомитета оказались слишком оптимистичны и поэтому произошел еще один перенос: в 2020 г. Конференция пройдет с 30 сентября по 2 октября, рядом с другой праздничной датой: запуском Спутника. Как обычно, КМУ проводится Научно-образовательным центром ИКИ РАН. В конференции принимают участие студенты, аспиранты и молодые ученые (до 35 лет), чья деятельность связана с космосом и космическими исследованиями. В очередной раз конференция будет самым крупным молодежным форумом, посвященным космической физике. На КМУ было подано 160 докладов. «Сборник тезисов Конференции молодых ученых» содержит тезисы, присланные участниками Конференции.

Компьютерная верстка: *Кораблева Е.О.*
Дизайн обложки: *Давыдов В.М.*

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



КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ

НАЗЕМНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОСАДОЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ЭКЗОМАРС-2020»

Н.Ф. Абрамов, И.В. Полянский, С.А. Прохорова
Институт космических исследований РАН

В последнее десятилетие мы наблюдаем значительный рост числа программ, посвященных исследованию Марса, в том числе с помощью телевизионных съемок. В основе этих программ лежит разработка, испытания и последующий запуск к Марсу специального исследовательского оборудования

Очередным шагом стала разработка космического аппарата (КА) «ЭкзоМарс-2020, состоящего из двух модулей: перелетного и десантного. Последний содержит марсоход и посадочную платформу (ПП), оснащенную телевизионной системой (ТСПП-ЭМ) и приборами для всестороннего исследования Марса.

Функциональным назначением системы ТСПП-ЭМ является формирование цифровых изображений окружающей обстановки и предметов, находящихся в пределах поля зрения камер (КАМ-О/ЭМ), с сохранением полученной информации в памяти блока сбора данных (БСД/ЭМ) для передачи в блок интерфейсов и памяти (БИП) из состава комплекса научной аппаратуры (КНА-ЭМ) для последующей трансляции по радиоканалу на наземные пункты приема данных или ретрансляторы.

В ходе испытаний в ИКИ РАН был получен фото- и видеоматериал с каждой камеры КАМ-О/ЭМ. При этом камеры были установлены на стенде имитирующем посадочную платформу КА «ЭкзоМарс-2020» в полном масштабе.

Эксперимент будет осуществлен в той части Марса, где до сих пор не проводились исследования с помощью посадочных модулей или марсоходов. Можно ожидать, что телевизионный эксперимент с учетом высоких показателей качества фото и видеoinформации ТСПП-ЭМ даст новые данные структуре и составе поверхности, свойствам реголита, атмосферным характеристикам в районе посадки в сочетании с данными других экспериментов – новую информацию по фундаментальным проблемам исследования Марса, в частности, его геологии, истории климата и др.

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛУННОГО ГРУНТА

И.А. Агапкин

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

Во время первой высадки на Луну в 1969 году (Аполлон 11) изучение физико-механических свойств происходило в основном за счет контакта с поверхностью Луны различных объектов (лунный модуль, стопы самих астронавтов) известной геометрической формы и веса, которые взаимодействовали с лунным грунтом как статически, так и динамически.

В 1970 году Луноход-1 был оснащен конусно-лопастным штампом. При внедрении штампа определялись показатели несущей способности грунта и его уплотняемости, при повороте – сопротивления вращательному срезу.

На Аполлоне 14 (1971) астронавтов снабдили простым ручным пенетрометром в виде алюминиевого стержня длиной 68 см с конусом на конце в 30о и диаметром 0,95 см. При использовании его внедряли в лунный грунт с помощью одной, либо двух рук.

На Аполлонах 15 и 16 (1971-1972) изучение физико-механических свойств продолжилось ручным самопишущимся пенетрометром. Вес прибора составил 2300 г, а наконечник также был конусом в 30о с рабочими диаметрами 1,28 и 2,03 см

В рамках проекта Луна-Ресурс-1 (ПА) (2025) планируется создание автоматического пенетрометра длиной 40 см и диаметром 3 см, общей массой не более 600 г. Внедрение инструмента будет происходить с помощью самозаглубляющегося устройства, построенного на принципе пушки Гаусса.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ С ГАММА-СПЕКТРОМЕТРОМ НА БОРТУ МОБИЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ВЕЩЕСТВА ЛУНЫ, МАРСА И ДРУГИХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ БЕЗ АТМОСФЕРЫ ИЛИ С ТОНКОЙ АТМОСФЕРОЙ

А.А. Аникин¹, И.Г. Митрофанов¹, Д.В. Головин¹,
А.Б. Санин¹, С.Ю. Никифоров¹, М.В. Дьячкова¹,
Н.Е. Карпушкина¹, Д.И. Лисов¹, М.Л. Литвак¹,
М.И. Мокроусов¹, Г.Н. Тимошенко², А.Р. Крылов²,
В.Н. Швецов², Г.В. Мицин², А.Г. Молоканов²

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна*

В настоящее время становятся актуальными эксперименты по анализу состава вещества Луны и Марса непосредственно на поверхности с мобильных автоматических аппаратов. Это необходимо для лунных исследований для изучения распространенности элементов в потенциальных районах размещения лунной базы и также для разведки лунных ресурсов. В случае Марса детальная информация о составе вещества вдоль трассы движения марсохода позволит обнаружить наиболее интересные области для детального анализа его образцов бортовыми приборами. Следует отметить, что до настоящего времени эксперименты по гамма-спектральному анализу состава вещества на борту планетных мобильных аппаратов не проводились.

Основная трудность при проведении таких экспериментов связана, во-первых, со статистической обеспеченностью измерений спектров гамма-лучей и, во-вторых, с наличием локального фона этого излучения от самого космического аппарата.

Физическая идея метода состоит в том, что регистрируемые гамма-лучи от локального объема вещества поверхности сопровождаются метками от заряженных частиц ГКЛ, которые попали в этот объем. Включив в состав гамма-спектрометра дополнительный детектор для регистрации этих частиц, можно будет обеспечить меткой совпадения те гамма-фотоны, которые образовались в выделенном локальном объеме в окрестности космического аппарата. Такой прибор можно назвать космическим гамма-спектрометром с метками от галактических космических лучей КГС-МГКЛ.

Прибор КГС-МГКЛ состоит из детектора гамма-лучей (ДГЛ), детектора галактических космических лучей (ДГКЛ) и блока электроники (БЭ). ДГЛ расположен на борту мобильного аппарата на небольшой высоте над поверхностью небесного тела. Этот детектор может быть создан с применением современных сцинтилляционных кристаллов с относительно большой эффективностью и высоким спектральным разрешением.

В качестве примера такого сцинтиллятора можно назвать кристалл CeBr_3 .

В данном докладе предлагается рассмотреть концепцию прибора КГС-МГКЛ, работающего на борту мобильного космического аппарата, результаты разработки его макета.

ВСПЛЕСКИ МОЩНОСТИ ДОЗЫ НА ВЫСОТЕ ПОЛЕТА МКС В ОБЛАСТИ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ

Г.И. Антонюк¹, В.В. Бенгин^{1,2}, Т.П. Дачев³,
И.А. Золотарев¹

¹ *Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

² *Институт медико-биологических проблем*

³ *Bulgarian Academy of Sciences*

На борту МКС был проведен эксперимент по измерениям доз радиации за малой толщиной защиты. Эксперимент проводился на платформе Европейского Космического Агентства EXPOSE-R2 модуля Звезда с помощью прибора R3DR2.

Результаты данного эксперимента, находящиеся в свободном доступе, были использованы для анализа вариаций радиационной обстановки в области внешнего радиационного пояса Земли.

Анализ показал наличие значительных возрастаний мощности дозы. Данные возрастания приводили к возрастанию вклада в среднесуточные значения мощности дозы в 5 и более раз. Мощность дозы подобных возрастаний достигала уровня в 40 мГр/ч, однако суммарная доза отдельных возрастаний не превышала 500 мкГр. Сопоставление с данными геомагнитной обстановки показало, что подобные возрастания наблюдаются в основном в периоды возмущения геомагнитной обстановки.

Полученная информация может быть полезна при оценке уровня радиационного воздействия на космонавтов во время внекорабельной деятельности.

РЕГИСТРАЦИЯ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

**А.С. Бычкова, Г.Г. Дольников, А.А. Карташева,
И.А. Шашкова, И.А. Кузнецов, А.Н. Ляш, А.Е. Дубов,
А.В. Шеховцова, С.А. Бедняков, А.В. Захаров**
Институт космических исследований РАН

Атмосфера Марса имеет некоторую схожесть с земной атмосферой. В частности, на Марсе присутствует ионосфера на высотах от 80 км до 135-140 км [1]. В последние годы с помощью инфракрасного и ультрафиолетового спектрометра SPICAM на борту орбитальной станции Mars Express [2] было обнаружено, что в атмосфере Марса присутствуют несколько мод аэрозолей. Имеющаяся трактовка характеризует частицы в атмосфере Марса как частицы пыли с эффективным радиусом 0.76 мкм, либо как лед с эффективным радиусом 0.9-1.2 мкм. Прибор Пылевой Комплекс (ПК), входящий состав будущей миссии Exomars, разработан для регистрации пылевых частиц, а также измерения электромагнитного поля окружающей плазмы на Марсе [3].

ПК включает в себя Ударный Сенсор, Штангу, Датчик электромагнитного поля и MicroMed. Ударный Сенсор состоит из 15 пьезоэлектрических пластин и 5 зарядочувствительных сеток. В рамках калибровочных испытаний пьезоэлектрических пластин был проведен эксперимент, в ходе которого прибор был помещен в аэродинамическую трубу, и затем был осуществлен вброс частиц различного размера и состава. При столкновении частиц с чувствительным элементом прибора регистрировался сигнал с помощью контрольно-измерительной аппаратуры. В данной работе представлены полученные взаимосвязи между характеристиками частиц и видом полученного сигнала.

Литература

1. Попель, С. И., Голубь, А. П., Зеленый, Л. М. (2019). Пылевая плазма в системе Марса. Распространение радиоволн. (pp. 67-74).
2. Fedorova, A. A., Montmessin, F., Rodin, A. V., et al. (2014). Evidence for a bimodal size distribution for the suspended aerosol particles on Mars. *Icarus*, 231, 239-260.
3. Zelenyi, L. M., Korablev, O. I., Rodionov, D. S. et al. (2015). Scientific objectives of the scientific equipment of the landing platform of the ExoMars-2018 mission. *Solar System Research*, 49(7), 509-517.

ПРОЕКТ МОДУЛЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОЙ ГРАВИТАЦИИ

Д.С. Вельможин

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева

В настоящее время наблюдается тенденция к проектированию и разработке космических кораблей, способных доставить человека к Луне и Марсу, особое внимание уделяется системам жизнеобеспечения экипажа и защиты человеческого организма от негативного воздействия космического излучения. Возможно, что многие предположения о негативном влиянии Межпланетного Пространства(МП) на биологические организмы верны, однако присутствует острая необходимость в осуществлении биологических экспериментов в МП.

Главной задачей проекта является исследование влияния Искусственной Гравитации(ИГ) на живые организмы в течение длительного периода времени. Побочной задачей является анализ работоспособности композитных материалов в Космических Аппаратах(КА) и систем управления с применением Искусственного Интеллекта(ИИ).

В работе уделяется внимание анализу возможности создания мало массогабаритного Модуля КА(МКА), например, «Бион» или «Фобос-Грунт», для проведения биологических экспериментов в условиях ИГ, который располагает пространством для размещения широкого спектра научного оборудования.

Объекты исследования: небольшие млекопитающие и земноводные организмы (мелкие грызуны, гекконы и т.п.) Эти объекты выбраны из тех соображений, что их биологические ткани идентичны человеческим, кроме того их социальное поведение и физиологические параметры хорошо изучены, а отклонения могут быть идентифицированы, их причины могут быть предложены и изучены.

Проект включает основные узлы и вспомогательные системы МКА, электрическую схему, алгоритм работы программного обеспечения ИИ.

Был проведен расчет основных конструкционных параметров МКА – скорости вращения, масс, габаритов и выведена формула оценки эксплуатационной характеристики - максимально возможного количества животных, зависящего от их вида и размеров МКА. Расчет основан на требованиях стандартов по нормам содержания лабораторных животных (ГОСТ 33215-2014, 33216-2014, 33219-2014).

Реализация данного проекта – важный шаг к покорению дальнего космоса!

МОБИЛЬНАЯ СТАНЦИЯ ПРИЁМА ТЕЛЕМЕТРИИ И ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРБИТЫ СВЕРХМАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А.П. Верстаковская, В.Е. Евчик

Белорусский государственный университет

В связи с большим количеством запусков сверхмалых космических аппаратов (СМКА), в последние годы становится актуальным вопрос не только оперативного приема и обработки их телеметрии, но и измерения орбитальных параметров. По прогнозу международных организаций до 2022 г. на орбите окажется несколько тысяч СМКА (массой до 10 кг), что в разы больше, чем ожидаемое количество больших по массе космических аппаратов. Прогнозирование будущих положений СМКА имеет значение для решения задач по их управлению, слежению и проведению сеансов радиосвязи. Для выполнения этих прогнозов для одной наземной станции используется модель прогнозирования SGP 4 с входными данными в формате TLE системы NORAD (North American Aerospace Defense Command – Командование воздушно-космической обороны Северной Америки). Как правило, TLE обновляются ежедневно, доступны бесплатно, но в долгосрочной перспективе или в случае военных конфликтов система NORAD имеет возможность отключить общий доступ к базе данных орбитальных параметров. Реже на борту СМКА для определения точных координат и скорости используют навигационный приемник. Еще одним способом получения начальных данных для моделей прогнозирования движения СМКА является определение орбиты на основе измерений характеристик радиосигналов телеметрической или командной радиопередачи, что упрощает аппаратную реализацию и стоимость измерительной системы. Измеряемыми параметрами для бюджетной наземной станции приема (НСП) являются время и доплеровский сдвиг частоты принимаемого радиосигнала.

Предлагается для измерения орбит СМКА использовать мобильные НСП с временной синхронизацией и возможностью разнесения по территории Республики Беларусь. Эти НСП будут иметь возможность автономной работы, удаленного управления и изменения географии приема. Они будут оснащены минимальным количеством оборудования: всенаправленной антенной, модулем входного усилителя с фильтром, модулем SDR радиоприемника, модулем временной синхронизации, измерения времени и частоты телеметрического радиосигнала, управляющим ПК. Технология приема предполагает прием одного и того же пакета телеметрии с СМКА на всех синхронизированных НСП и за счёт обработки измерений времени приёма и частоты радиосигнала телеметрии определения его точных орбитальных параметров.

Был разработан экспериментальный образец мобильной НСП, который тестировался на приеме телеметрии и измерении орбиты университетского наноспутника БГУ CubeVel-1. В проведенном эксперименте была принята и декодирована телеметрия, измерены времена приема и частоты радиосигналов телеметрии. Данные измерения на одном и нескольких последовательных пролетах наноспутника по доплеровскому сдвигу частоты на моменты приема телеметрии сравнивались с результатами моделирования на основе SGP 4 модели с начальными данными в формате TLE и результатами численного моделирования

на основе интегрирования уравнений движения СМКА с начальными данными на основе измерений бортового навигационного приемника. Было показано, что экспериментальные данные по доплеровскому сдвигу частоты хорошо согласуются с данными моделирования.

Использование мобильных НСП для приема телеметрии СМКА позволит увеличить географию приема, улучшить качество приема за счет возможности работы за пределами городской «зашумленной» среды, проводить работу в автономном режиме, самостоятельно получать орбитальные параметры на основе обработки измерений.

ЗАДАЧА АВТОНОМНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОКОЛОЛУННОЙ ОРБИТЫ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ С БОРТА КА

Р.Ф. Габдулхаков, А.А. Семенов, М.И. Шпекин

Казанский Федеральный Университет

Рассмотрена задача определения окололунной орбиты космического аппарата по измерениям на его борту. В состав бортового оборудования должен при этом входить цифровой фотоаппарат и небольшой компьютер. Общая схема решения задачи сводится к тому, чтобы отснять цифровой камерой участки лунной поверхности, опознать на них несколько лунных кратеров, выполнить на борту измерения изображений опознанных кратеров, провести фотограмметрическую обработку измерений, используя каталожные селеноцентрические координаты упомянутых кратеров, в результате которой получатся элементы орбиты.

В докладе обсуждается алгоритм решения обратной фотограмметрической задачи, когда в состав измерений включены два фотоснимка с опорными точками, а результатом решения служат не только элементы внешнего ориентирования снимков, а также элементы орбиты, с которой они получены. Такую задачу можно было бы назвать орбитальной обратной фотограмметрической засечкой (ООФЗ). Принципиальное отличие ООФЗ от традиционной обратной фотограмметрической засечки (ОФЗ) состоит не только в том, что ОФЗ решается по одному снимку, а ООФЗ – по двум. Важное отличие заключается также в том, что в случае ОФЗ результат относится к одной точке орбиты, тогда как в случае ООФЗ получают сведения о самой орбите, включая все ее элементы.

Представлены фотограмметрический и небесномеханический анализ поставленной задачи с тем чтобы определить число опорных точек на лунной поверхности, которые потребуются опознать на снимках, число фотоснимков и их распределение по орбите для более точного расчета орбиты, а также найти оптимальные параметры самой схемы орбитальной съемки.

Знание фактических параметров орбиты КА в момент съемки лунной территории может оказаться весьма полезным при движении КА над обратной стороной Луны, когда объект недоступен наземным измерениям. Кроме того, автономный метод определения орбиты мог бы повысить надежность управления движением аппарата с наземных пунктов слежения. Предложенная схема может оказаться полезной также при построении фотограмметрических сетей на Луне и создании равноточной системы лунных координат, покрывающей всю лунную территорию.

СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

**М.В. Егоров, О.В. Морозов, Г.М. Николадзе,
П.А. Поляков, В.В. Сазонов, Д.Э. Харабадзе,
В.С. Шевцов**

*Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

В 2019 году коллектив авторов разработал испытательное оборудование — стенд для проведения испытаний изделий ракетно-космической техники на воздействие постоянного магнитного поля со следующими основными характеристиками:

- магнитное поле – постоянное, создаётся тремя парами колец по трем осям (максимальные габариты магнитной системы 2500 x 2500 x 2500 мм);
- максимальный уровень напряженности магнитного поля (без учёта магнитного поля Земли) 400 А/м;
- направление вектора напряженности магнитного поля по трем осям 360°;
- погрешность задания вектора напряженности магнитного поля не более 10 % (по результатам испытаний менее 1 %);
- неравномерность поля в рабочей зоне не более 10 % (по результатам испытаний от долей процента до менее 6 %);
- рабочая зона с гарантированными выше метрологическими характеристиками 700 x 700 x 700 мм (стенд имеет сквозные окна для «протягивания» сквозь магнитную систему в том числе и протяженных объектов диаметром 1400 мм);
- погрешность воспроизведения модуля напряженности магнитного поля в рабочей зоне не более 10 %;
- в состав испытательного оборудования входит магнитометр из Госреестра средств измерений и специальный предметный стол.

Условия эксплуатации имеют широкий диапазон значений:

- температура воздуха от 8 до 35 °С;
- относительная влажность воздуха от 30 до 85 % (при 25 °С).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ ПУТИ СОЛНЦА ПРИ ВЕДЕНИИ СКАНЕРОМ ПРИБОРА FAST

**С.В. Жмайлов, А.В. Шакун,
А.С. Кунгуров, О.В. Сазонов**

Институт космических исследований РАН

FAST (Fourier for Atmospheric Species and Temperature) – прибор, разрабатываемый для посадочной платформы миссии ЭкзоМарс-2020. Одна из основных научных задач прибора – изучения малых газовых составляющих в марсианской атмосфере, - будет решаться с помощью наблюдения солнечного излучения, прошедшего через атмосферу. Поскольку запись интерферограммы занимает около 25 мин, всё это время Солнце необходимо удерживать в поле зрения с помощью сканера прибора.

Первые испытания показали, что при ведении Солнца сканером в спектре возникает шум, которого нет при наблюдении неподвижного лабораторного источника. Этот шум был объяснён рывками, возникающими при изменении направления движения моторов сканера. Для уменьшения шумовой составляющей было предложено вести сканер не по истинному пути движения Солнца по небу, а по локсодромии, максимально приближенной к этой траектории. В таком случае оба мотора будут вращаться с постоянной скоростью, однако Солнце будет выходить из центра поля зрения.

Траектория Солнца по небу зависит от местного времени и от склонения Солнца, зависящего от времени года на Марсе. В работе с помощью моделирования были найдены оптимальные значения скоростей моторов сканера для конкретного местного времени и склонения Солнца. Для полученных условий было определено отклонение Солнца от центра поля зрения и вызываемые им изменения в аппаратной функции. Оказалось, что большую часть времени отклонение Солнца от центра поля зрения пренебрежимо мало и максимум аппаратной функции уменьшается не более чем на несколько процентов. Лишь в летние месяцы при наблюдении в течении часа до и после полудня Солнце может выходить за пределы поля зрения и максимум аппаратной функции уменьшается вдвое. Ширина же аппаратной функции сколько-нибудь заметным образом не меняется. Поэтому в целом подход с аппроксимацией пути Солнца локсодромией признан удовлетворительным и после наземных испытаний будет использован в работе прибора FAST на Марсе.

ЭЛЕКТРОННЫЙ МАКЕТ РАСПРЕДЕЛЕННОГО СОЛНЕЧНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ НАНОСПУТНИКА

А.А. Камоцкий, С.Н. Семенович, И.П. Стецко
*Белорусский государственный университет, Минск,
Беларусь*

Для корректной ориентации солнечных батарей, бортовых антенных систем, целевой нагрузки или граней аппарата, с целью терморегулирования, система стабилизации и ориентации (ССО) в своих алгоритмах опирается на показания бортовых датчиков углового движения (гироскопов) и датчиков направлений (магнитометр, датчики Солнца и звезд) [1].

В уже сформировавшемся стандарте CubeSat изначально сделан упор на использование общедоступных электронных компонентов [2], поэтому при проектировании аппаратов такого класса необходимо использовать миниатюрные, доступные и малопотребляющие сенсоры.

Существует множество публикаций на тему создания относительно дешевых датчиков направления на Солнце, самые распространённые и опробованные в космических условиях используют фотодиоды или фотоэлектрические преобразователи подсистемы питания спутника [3-5].

В процессе исследований был промоделирован, изготовлен и протестирован вариант солнечного датчика на основе четырех интегральных цифровых сенсоров освещенности (ВН-1750) с цифровым интерфейсом. Сенсоры расположены на гранях правильной четырехугольной пирамиды и объединены в единую группу для измерения азимутального и зенитного угла по отношению к одной грани спутника.

Группы сенсоров на разных гранях с помощью цифрового интерфейса легко объединяются в единый распределённый массив для определения итогового направления на Солнце по отношению к системе координат наноспутника.

Образец датчика направления был протестирован в лабораторных условиях на стенде с использованием имитатора Солнца. Для натурального моделирования солнечного излучения был использован театральный прожектор и оптический коллиматор, обеспечивающие освещённость поверхности сенсора на уровне 30 тысяч люкс. С помощью трех осевого акселерометра была реализована схема цифрового инклинометра для контроля заданных углов стенда.

Результующая погрешность измерений азимутального и зенитного углов в процессе экспериментальной апробации созданного датчика ограничена диапазоном $\pm 1,5$ градуса ($\alpha = 0.95$) при углах обзора ± 45 градусов. Проведенные испытания на созданном стенде и натурное моделирование с использованием имитатора Солнца подтвердили возможность использования опытного образца с распределенными сенсорами в качестве датчика направления.

Литература

1. А.В. Туманов, В.В. Зеленцов, Г.А. Щеглов // Основы компоновки бортового оборудования космических аппаратов М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 572с.
2. Интернет-портал NASA [Электронный ресурс] Small Spacecraft Technology State of the Art NASA/TP-2015-216648/REV1 – Режим доступа:
3. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/small_spacecraft_

technology_state_of_the_art_2015_tagged.pdf. - Дата доступа: 25.01.2020.

4. Черемухин Г.С. Приборы ориентации на Солнце для космических аппаратов. М.: Воентехиниздат. 2004г. 384 с.
6. Salgado-Conrado L. A review on sun position sensors used in solar applications / Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Vol. 82, Part 3. – P. 2128-2146
7. Springmann J. C. Satellite Attitude Determination with Low-Cost Sensors / J. C. Springmann – The University of Michigan, 2013, 141P.

ИОННЫЙ ЭНЕРГО-МАСС АНАЛИЗАТОР ULTIMAN

К.И. Ким^{1,2}, С.Д. Шувалов¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский физико-технический институт*

Ионный энерго-масс анализатор ULTIMAN (ULTimate Mass ANalyser) способен измерять 3D функцию распределения ионов солнечного ветра в полусфере с энергиями от 3 эВ до 30 кэВ с энергетическим разрешением $\sim 10\%$, массовым разрешением ~ 40 . Также предложенную схему можно модернизировать для измерения функции распределения электронов солнечного ветра. Схема предложена Вайсбергом О.Л., более подробно работа описана в статье arXiv:1907.07993.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ С АТМОСФЕРОЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОЭМИССИОННЫХ МЕТОДОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЩИТОВ СПУСКАЕМЫХ АППАРАТОВ

А.В. Колычев, В.А. Керножицкий, М.В. Чернышов

*Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

В настоящее время во всем мире наблюдается рост количества разработок в области ракетно-космической техники, связанной с исследованием космического пространства. Так, разрабатываются станции для исследования планет Солнечной системы и непосредственно самого Солнца, межпланетные космические корабли.

В многих разрабатываемых автоматических станциях (АС) предполагается посадка на поверхность планеты, в том числе на планету с атмосферой. У таких АС имеются термонапряжённые элементы (камеры энергодвигательных установок, тепловые щиты спускаемых аппаратов и др.). С другой стороны, известно, что ресурс и надёжность таких элементов существенно возрастает по мере уменьшения их рабочей температуры.

В БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова с 2009 года (в США с 2014 года) разрабатываются термоэмиссионное охлаждение (ТО) термонапряжённых элементов ракетно-космической техники, сопровождающее явление термоэлектронной эмиссии - испускание электронов нагретым материалом. Тепловой эффект ТО в других известных областях достигает величин порядка 700-900 С.

ТО реализуется следующим способом. Горячий элемент ракетно-космической техники, например, тепловой щит (ТЩ) спускаемого аппарата на поверхность Марса, Венеры и других планет, покрывается слоем из материала с высокой термоэмиссией электронов при нагреве. Вход спуска в атмосферу с поверхности покрытия ТЩ происходит «испарение» электронов. В результате ТЩ с термоэмиссионным покрытием охлаждается. Чем больше электронов вышло, тем сильнее охлаждение. Далее электроны воспринимаются элементом – анодом, располагаемым в той части автоматической станции, отвести тепло от которого намного проще, чем от ТЩ (например, область тени). В данном случае происходит снижение температуры, температурных напряжений и деформаций ТЩ и перевод тепла на элемент менее нагруженный.

Разработка запатентована. Один из Патентов № 2573551 (заявка от 05.2014) входит в список «100 лучших изобретений России 2015 года».

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИИ СТЕКЛА ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ И ПРОТОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Е.С. Колонтаева

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Тема исследований взаимодействия заряженных частиц с диэлектрическими материалами остается актуальной в связи с немалым количеством нерешенных прикладных задач. К примеру, материалы, используемые на внешних поверхностях высокоорбитальных спутников, подвергаются воздействию ионизирующих излучений космического пространства – электронов и протонов радиационных поясов Земли и магнитосферной плазмы. В частности, защитные стекла солнечных батарей геостационарных спутников подвергаются воздействию горячей магнитосферной плазмы (ГМП), таким образом, в высокоомных диэлектриках накапливается внедрённый заряд, способный при определенных условиях, особенно в период геомагнитных бурь, привести к электростатическим разрядам (ЭСР).

Захват электронов и дырок имеющимися в стекле соответствующими ловушками приводит к появлению в нём центров окраски и, как следствие, к росту его оптической плотности. Так изменения, вызванные ЭСР, могут привести к деградации оптических свойств защитных стекол солнечных батарей, и как следствие, снижению мощности. Для повышения радиационной стойкости защитных стекол солнечных батарей (К-208) в них добавляют церий, обеспечивающий ловушки для образующихся при облучении электронов и дырок, перемещая образование центров окраски в УФ область спектра.

Результаты многочисленных исследований показали, что раздельное облучение стекол электронами и протонами сопровождают сложные взаимосвязанные процессы. Сравнительный анализ радиационных эффектов, вызванных отдельными компонентами ГМП (электронами и протонами), может дать полезную информацию о механизмах, обуславливающих эффекты при их совместном воздействии.

Поэтому цель данной работы состояла в сравнительном анализе структурных изменений поверхностей образцов стекла К-208, облученных электронами и протонами с энергиями, характерными для частиц ГМП. Для достижения поставленной цели поверхности облученных образцов К-208 исследованы методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) и проведен анализ полученных результатов.

ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПОИСКОВЫХ ЗАДАЧАХ (НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ ВЫЯВЛЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ НИЗКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ В ОБЛАСТИ НАГРЕВА ПЕРЕДАТЧИКА HAARP НА МИКРОСПУТНИКЕ DEMETER)

Н.Н. Корнева, М.М. Могилевский, В.Н. Назаров
Институт космических исследований РАН

Выявление (поиск) и изучение возмущений нестационарных сигналов, предположительно связанных с тем или иными событиями, распространенная и часто возникающая задача при интерпретации результатов научного космического эксперимента. Характерной особенностью данной задачи, является отсутствие строгой формализации критериев поиска, а, следовательно, требуемый анализ не может быть выполнен полностью в автоматическом режиме. Роль ученого в этом случае заключается не только в интерпретации измерений, но и в решении целого ряда задач, напрямую не связанных с исследованием. К наиболее трудоемким из них относятся: выбор и изучение инструмента анализа данных, а также подготовка исходных данных. При этом зачастую для анализа одного и того же набора данных требуется использовать различные инструменты, т. к. не один из них не предоставляет в полной мере требуемой функциональности. Как следствие, одни и те же наборы данных и промежуточные результаты приходится хранить в различных форматах.

В настоящей работе рассматривается разработанный инструмент (программный продукт), автоматизирующий процесс анализа измерений на предмет выявления возмущений сигнала, предположительно связанных с теми или иными событиями. Работа инструмента обсуждается на примере задачи выявления возмущений низкочастотных сигналов, регистрируемых в области нагрева передатчика HAARP на микроспутнике DEMETER.

ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ УСТРОЙСТВ НАВЕДЕНИЯ И ОРИЕНТАЦИИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Е.Б. Коротков, Н.С. Слободзян, А.А.Киселев

*Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

Современные информационные системы, использующие космические аппараты (КА), решают широкий спектр задач: прикладные телекоммуникационные проблемы обеспечения телевидения, глобальной спутниковой связи, интернета; мониторинг земной поверхности; передовые исследования ближнего, среднего и дальнего космоса – галактик, черных дыр, реликтового излучения [1 и др.]. Для достижения предельных качественных свойств информационных систем космических аппаратов и станций их бортовые приборы (антенны связи, телескопы, рефлекторы и др.) необходимо ориентировать относительно КА с максимально высокой точностью. Современные требования к точности позиционирования и ориентации бортовых приборов КА имеют порядок микрометров и микроградан соответственно [2].

Основным принципом построения качественной системы позиционирования и ориентации объекта является управление с обратной связью по его положению. Для рассматриваемого типа устройств наведения — это три угловых и три линейных координаты. Экстремальные условия внешней среды, в которых функционирует аппаратура космического аппарата, накладывают ряд ограничений на используемую компонентную базу [3]. Точность перемещения объекта, размещенного на подвижной платформе гексапода, зависит как от погрешностей изготовления самого механизма, так и от правильного учета всех кинематических параметров, вводимых в систему управления механизмом для решения обратной задачи кинематики. Но в первую очередь на точность перемещения выходного звена — подвижной платформы с объектом — влияет точность работы линейных приводов. Из-за недостатков вышеописанных подходов к построению системы измерения положения и ориентации подвижной платформы, а также в соответствии с модульным принципом построения рассматриваемого механизма, наиболее оптимальным является обеспечение функционирования линейных приводов как замкнутых исполнительных устройств, или сервоприводов.

Актуальной является задача разработки прецизионного механизма с параллельной кинематикой космического назначения, обеспечивающего требуемые уровни точности, надежности, долговечности и безопасности эксплуатации на борту. Вместе с тем, такое устройство должно быть построено на доступной, но стойкой к экстремальным факторам, компонентной базе.

Анализ основных источников ошибок в механизме типа гексапода показал, что наибольшее влияние оказывают погрешность изготовления шарико-винтовых передач его линейных приводов, погрешности размещения и ориентация шарниров, а также линейное температурное изменение размеров элементов гексапода.

С учетом сложности построения замкнутой системы управления на базе МПК, для достижения высокой точности наведения и ориентации платформы было предложено использование косвенной обратной связи по положению в линейном приводе с помощью индивидуальной калибровки шарико-винтовой передачи. Также предложено выполнение компенсации линейного теплового изменения размеров элементов гексапода.

Указанные методы позволяют повысить более, чем в 10 раз точность механизма с параллельной кинематикой, а также получить более дешевую, но вместе с тем надежную систему наведения ориентации различных объектов и бортовых приборов космических аппаратов.

Литература

1. Артеменко Ю.Н. Многофункциональное использование манипулятора наведения космического телескопа «Миллиметрон» // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 4-2. С. 44-46.
2. Горбунов А.В., Коротков Е.Б., Леканов А.В., Рудыка С.А., Слободзян Н.С. Применение пространственных механизмов с параллельной структурой для наведения, стабилизации и виброизоляции бортовых приборов // Решетневские чтения. 2017. Т. 1. № 21. С. 117-118.
3. International Space Station (ISS) Researcher's Guide [Электронный ресурс] / National Aeronautics and Space Administration. – Электрон. текстовые дан. – США, 2015. – Режим доступа: https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/NP-2015-03-015-JSC_Space_Environment-ISS-Mini-Book-2015-508.pdf

БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ И ИНФОРМАЦИИ ПО ОТКРЫТОМУ ОПТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ

**С.А. Матвеев, Ю.В. Коноплев, А.Д. Ширшов,
Н.Г. Яковенко**

*Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

Разработка и технология изготовления крупногабаритных трансформируемых рефлекторов являются одними из перспективных направлений в развитии космической отрасли, одной из основных задач которых является корректное выстраивание радиоотражающей поверхности сетеполотна при раскрывании.

Подобная задача может быть решена посредством проектирования рефлекторной системы, состоящей из фронтальной и тыловой сетей, связанных между собой вантовыми оттяжками, чья корректировка рабочих длин позволит изменять форму фронтальной (отражающей) поверхности рефлектора.

В целях минимизации масс и уменьшения вероятности спутывания проводных кабелей, в системе ферменного рефлектора энерго–информационный обмен между функциональными элементами предлагается организовать открытым оптическим каналом, а именно посредством приемапередачи лазерного излучения.

Функционирование беспроводной системы управления формой отражающей поверхности начинается с определения текущей геометрии сетеполотна рефлектора. Лазерный трекер, по сформированной области поиска, начинает сканировать фронтальную сеть, последовательно определяя положение каждой геометрической точки радиоотражающего полотна, способной изменять свое положение в пространстве посредством работы электромеханизма с вантовыми оттяжками, где актуатором могут выступать различные электромеханические устройства. После получения информации о положении всех точек программа направляет данные в центральный контроллер или процессор.

После получения массива данных, происходит последовательное наведение лазерного луча на фотоэлемент каждой из необходимых к корректировке положения точек, располагаемый на поверхности фронтальной сети, таким образом осуществляя подачу питания.

Для передачи информации о требуемом направлении и величине перемещения предполагается использовать модуляцию лазерного излучения, импульсы которого могут восприниматься микроконтроллером для преобразования в последовательность бит данных.

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ И ФЕРРОМАГНИТНЫХ МОДУЛЕЙ

А.А. Меднов, А.А. Переверзина

Уфимский государственный авиационный технический университет

Изготовление авиационных деталей невозможно без термообработки токами высокой частоты (ТВЧ), благодаря которой изделие приобретает форму, прочность, покрытие. На практике получение ТВЧ затруднительно, так как требует специализированных источников питания. Высокочастотные источники питания зарекомендовали себя как ключевой элемент установок ТВЧ. Зачастую они сочетают в себе качества, синтезируемые каскадным включением полупроводниковых и ферромагнитных модулей (МФ). Однако, последние имеют ряд особенностей, связанных с их параметрическим синтезом.

Существующий алгоритм проектирования разработан в далёкие 70-е годы XX века и требует корректировки в соответствии с развитием науки и техники. На начальном этапе проектирования необходимо определить индукцию насыщения и величину напряженности магнитного поля для стали магнитопровода. После чего с помощью аппроксимации гиперболическим синусом составляются уравнения приближенного гармонического состава (метод Бесселя). Для умножителя частоты в четное число раз достаточно произвести расчеты по второй и четвертой гармонической составляющей. Эти уравнения могут применяться для определения электромагнитных параметров МФ в режиме холостого хода, в режимах номинальной нагрузки и короткого замыкания. По полученным уравнениям строятся основные характеристики МФ: внешняя, нагрузочная, регулировочная, а также определяются номиналы емкостей продольной и поперечной емкостной компенсации. Проверка работоспособности и тепловых режимов работы осуществляется на этапе моделирования в программных комплексах Matlab, ANSYS или SolidWorks.

Проектирование МФ по предлагаемой методике расчета позволяет осуществлять параметрический синтез более эффективно, а также с помощью математических программных комплексов построить весь набор важных рабочих характеристик преобразователей. С целью проверки и оптимизации работы спроектированного МФ целесообразно воспользоваться программами по имитационному моделированию и моделированию тепловых процессов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ ПРИМЕСИ В ПОЛИМЕРНОМ КОМПОЗИТЕ ПРИ ВАКУУМНОТЕПЛОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

В.К. Мелешко

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана*

Функционирование космического аппарата (КА) происходит в газовой среде, называемой собственной внешней атмосферой (СВА). Она образуется в окрестности КА за счет потери массы материалов поверхности, утечки газов из негерметичных отсеков, выбросов продуктов сгорания топлива ракетных двигателей и других процессов. СВА относится к числу важнейших факторов, снижающих надежность бортовых систем и сокращающих срок активного существования КА. Например, негативное влияние СВА на функционирование КА проявляется в осаждении продуктов СВА на чувствительных к загрязнению участках поверхности КА, в первую очередь, оптических, в снижении электрической прочности открытого электротехнического и радиотехнического оборудования за счет увеличения давления вблизи поверхности КА и, как следствие, увеличения вероятности газовых форм разряда. Широкое применение полимерных материалов и внедрением в практику конструирования КА негерметизированных отсеков создает предпосылки для увеличения плотности СВА и присутствия в ее составе высокомолекулярных соединений легко конденсирующихся на поверхностях аппарата.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ), используемые в качестве внешних покрытий и занимающие значительную площадь поверхности спутника, могут служить основными источниками летучих веществ (ЛВ) составляющих СВА. В качестве ЛВ могут выступать как технологические добавки в материал (пластификаторы, растворители, отвердители и т.д.), так и вещества образованные в результате воздействия на материал факторов космического пространства.

Применение математического моделирования для разработки ПКМ даст возможность оптимизировать их потери массы в условиях эксплуатации как за счет выбора рецептуры, так и за счет оптимизации структуры. Это позволит сократить объем испытаний для подтверждения функциональных свойств создаваемых композитов и даст возможность прогнозировать ожидаемый в условиях эксплуатации уровень их общей потери массы.

В данной работе с помощью краевой задачи для координатно-зависимой диффузии проведено численное исследование миграции ЛВ в модельных ПКМ и выхода ЛВ в вакуум. Модельные ПКМ представляют собой модификации штатного терморегулирующего покрытия КА. Показано, что управляя распределением активного наполнителя ПКМ, можно ускорить или замедлить выход ЛВ в вакуум.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ЛУННОГО ГРУНТА ГЛУБИННЫМ КАРОТАЖНЫМ ЗОНДОМ ПРИБОРА ТЕРМО-ЛР

Ю.В. Михайлов, В.Ю. Маковчук

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

Основной задачей глубинного каротажного зонда (ГКЗ) является получение детального разреза температурных, физико-механических и электромагнитных свойств реголита на глубину от 1 до 3 м для геофизической разведки с целью сравнения и корреляции с данными по распределению содержания летучих с глубиной по слоям реголита. Второй важной задачей ГКЗ является получение прямым контактным методом детальной геоэлектромагнитной структуры лунного грунта с разрешением 2.5 см.

Устройство внедрения погружает и прикрепленный к нему глубинный каротажный зонд (ГКЗ), оснащенный тремя датчиками – датчиком диэлектрической проницаемости (ДДП), датчиком магнитной восприимчивости (ДМВ) и глубинным термодатчиком (ГТД). Во время погружения в реголит информация с ДДП, ДМВ и ГТД поступает в блок электроники.

Разрешение измерений по глубине определяется высотой этих датчиков, которые представляют собой цилиндры диаметром 2.5 см и высотой 2.5 см. Таким образом, будут получены данные о диэлектрических свойствах и магнитной восприимчивости каждого слоя реголита толщиной от 2.5 см и более. С помощью терморезисторов, расположенных через 30 см на композитной ленте из специального углепластика, измеряется температура грунта на разных глубинах.

МЕТОДОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПО КИНЕТИЧЕСКОМУ МОМЕНТУ ДВИГАТЕЛЕМ-МАХОВИКОМ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ВЫСОКОДИНАМИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.В. Некрасов

*АО Научно-производственная корпорация Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы
им. А.Г. Иосифьяна*

Для расширения комплекса задач изучения Земли из космоса методами дистанционного зондирования, необходимо, чтобы космический аппарат (КА), как носитель различных приборов, в том числе специальной информационно-измерительной аппаратуры, удовлетворял широкому спектру требований, определяемых его назначением. Одним из таких требований является – возможность оперативного и точного наведения трасс съемки с КА на определенные районы для проведения частых наблюдений (например: во время стихийных бедствий, возгораниях и т. д.).

Из применяемых активных систем ориентации и стабилизации КА по способу создания управляющего момента (M_u) и типам исполнительных органов (ИО) выделяют электромеханические системы, где M_u создается за счет инерционных вращательных масс. Данные ИО подразделяют на двигатели-маховики (ДМ) и гиросиловые системы.

На фоне возрастающего интереса применения микро-, мини- и малых спутников в космонавтике интерес к использованию ДМ не уменьшается, а требования к улучшениям технических характеристик только увеличивается [1].

С появлением радиационно-стойкой микроконтроллерной (МК) техники появились новые возможности в управлении ДМ, а, следовательно, и КА. Интеграция в схему ДМ МК-управления (ДМ-МК) позволила не только существенно увеличить качество ряда технических характеристик ДМ, но и пополнить ДМ новыми функциональными возможностями, на базе которых реализована новая методология управления системой ориентации и стабилизации КА. Данная методология включает высокоточное управление по кинетическому моменту (M_k) ДМ. Величина M_k ДМ характеризуется значением массы вращения, распределением этой вращающейся массы относительно оси вращения и скоростью данного вращения. Так как значения массы и распределения ее относительно оси вращения обусловлено конструкцией применяемого ДМ, то значения этих величин в данной работе считаем константами. Следовательно, методология управления по МК предполагает МК-управление по скорости вращения ротора ДМ.

Методология управления ДМ-МК в режиме управления по скорости вращения ротора строится из анализа задачи нейтрализации значения ошибки скорости вращения ротора ДМ отличного от нуля для каждого декомпозиционного слагаемого этапа функции управления ДМ-МК [2].

По итогам проведенного исследования была создана универсальная методологии управления ДМ-МК (то есть для разных типов ДМ-МК) в режиме управления по скорости вращения ротора для высокодинамичных КА.

В настоящее время, по итогам натурных испытаний, методология управления ДМ-МК по кинетическому моменту для высокодинамичных КА проходит этап внедрения.

Литература

1. Макриденко Л.А., Волков С.Н., Ходненко В.П. Концептуальные вопросы создания и применения малых космических аппаратов. - М.:Труды ВНИИЭМ. – 2010. – Т.114. – С.15-26.
2. Некрасов В.В. Построение математической модели микроконтроллерной системы управления двигателя-маховика в режиме заданной скорости. – Москва: Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. Т.171 №4, 2019 – С. 3 – 8.

НАЗЕМНАЯ СТАНЦИЯ ПРИЕМА ТЕЛЕМЕТРИИ И УПРАВЛЕНИЯ ИМИТАТОРОМ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

В.В. Нехай, Д.Н. Гринь

Белорусский Государственный Университет

Уровень развития современного общества определяется в первую очередь уровнем использования в нем информационных и аэрокосмических технологий. Современный малый космический аппарат (МКА) немыслим без применения современных информационных технологий как в составе бортовой аппаратуры, так и наземном комплексе управления и приема. Подготовка специалистов, владеющих знаниями и навыками в области построения наноспутников, систем сбора телеметрии и управления МКА ведется поэтапно с увеличением сложности решаемых задач.

На первом этапе при обучении работы с системами приема телеметрии используется имитатор малого космического аппарата, что позволяет избежать трудностей, связанных с нахождением и работой с реальным космическим аппаратом на орбите. После отладки системы приема телеметрии и отработки навыков работы на наземном аппарате-имитаторе происходит замена имитатора на реальный спутник, где приходится учитывать особенности, связанные с его положением на околоземной орбите, например, проводить коррекцию доплеровского сдвига частот. В докладе описывается один из вариантов построения программно-определяемой радиосистемы (англ. Software-defined radio, SDR) для приема и декодирования пакетов протокола пакетной связи AX.25, передаваемых посредством частотной манипуляции FSK 9600 бод с использованием SDR-приемника и методов цифровой обработки сигналов (ЦОС).

В октябре 2018 Белорусским Государственным Университетом был запущен студенческий наноспутник формата U2 CubeBel-1 (BSUSat-1). Прежде чем допустить молодых специалистов к работе с реальным спутником, они проходят второй этап обучения, где также используется имитатор малого космического аппарата, но уже в режиме удаленного управления. В докладе рассмотрена структура, режимы работы имитатора МКА, описаны программное обеспечение и совместная работа имитатора с наземной станцией управления и приема телеметрии, а также приведены уникальные работы, созданные для обучения студентов аэрокосмических специальностей.

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ ДЛЯ ПОЛЁТОВ В УСЛОВИЯХ МАЛОЙ ГРАВИТАЦИИ

Д.С. Носов

Московский физико-технический институт

Рассматриваются алгоритмы управления беспилотным летательным аппаратом (БЛА) в условиях малой гравитации в присутствии атмосферы. БЛА представляет собой куб, на гранях которого расположено по два движителя. Цель работы - разработать и смоделировать систему управления, позволяющую стабилизировать БЛА в пространстве, а также перемещать аппарат по заданной траектории.

Сформулирована математическая модель динамики БЛА, методом обратной задачи динамики синтезирован контур управления, обратные связи в контуре управления реализованы с использованием алгоритмов технического зрения.

Результаты работы могут быть применены при разработке аппарата для обитаемых отсеков МКС.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОБЛИКУ, ЦЕЛИ, ЗАДАЧЕ И ВОЗМОЖНЫМ СЦЕНАРИЯМ РАБОТЫ ЛУНОХОДА В СОСТАВЕ ПОСАДОЧНОЙ МИССИИ НА ЛУНУ

А.В. Носов

Институт космических исследований РАН

Основная цель будущих лунных проектов – безусловно, обеспечение успешной доставки максимально возможного количества полярного лунного реголита, взятого с разной глубины с сохранением летучих веществ и водяного льда. Кроме этого, в дополнительные цели такого проекта включено создание космического комплекса на поверхности Луны на базе посадочных аппаратов, а также возврат на Землю биологических образцов и электронных компонентов, прошедших длительное экспонирование на поверхности Луны в составе предыдущих посадочных аппаратов. Для реализации этих целей необходимо обеспечить технологическую мобильность в окрестности посадки посадочного модуля. Это включает различные операции как в непосредственной окрестности места посадки для прямой помощи в сборе образцов грунта, так и в удаленной окрестности для доставки биологических образцов и электроники.

Наиболее универсальным средством для решения этих задач является автономный луноход малого или среднего класса оснащенный манипулятором для сбора и переноски различных образцов и научных модулей и имеющий возможность прямого телеуправления с Земли. В дополнение к основным целям миссии, наличие автономного лунохода, способного многократно пережить лунную ночь, также означает существенное расширение научной программы миссии, позволяя ее продлить и после старта возвращаемого модуля с образцами лунного грунта, обеспечивает возвращение после долгого перерыва к практике использования луноходов и дает возможность отработать элементы и основные принципы будущей лунной геологоразведки. Поэтому мобильность на поверхности Луны в реализации космического эксперимента, проводимого в рамках будущей посадочной миссии, является приоритетной задачей, а ее возможные реализации должны быть детально изучены для выбора оптимальной концепции лунохода.

С учетом изучения летных образцов, прототипов и современных космических технологий можно будет реализовать концепцию лунохода малого или среднего класса и наделять его достаточно большой функциональностью, такие задачи, как: съемка окрестности места посадки, посадочного модуля и процесса бурения и забора грунта, сбор и доставку образцов с поверхности Луны, собранных в окрестности места посадки, перенос и установку на поверхность автономных исследовательских модулей в окрестности места посадки ПМ (сейсмометры, термодатчики), и многие другие.

СПОСОБЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРУНТОЗАБОРНЫХ УСТРОЙСТВ И АНАЛИТИЧЕСКИХ НАУЧНЫХ ПРИБОРОВ НА БОРТУ ПОСАДОЧНЫХ МОДУЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУННЫХ МИССИЙ

А.С. Перхов

Институт космических исследований РАН

Среди аналитических научных приборов, которые могут входить в состав посадочных космических аппаратов, есть такие, которые нуждаются в дополнительных механизмах и устройствах для их работы. Так, спектрометры должны иметь возможность наводиться на разные объекты и поверхности, газоанализаторы должны получать образцы грунта для последующей обработки, анализаторы частиц и пыли необходимо выводить на удаленные точки от аппарата и др. Для аналитических научных приборов, работающих с образцами грунта, как правило, предъявляются специальные требования. Поэтому при доставке порции грунта от грунтозаборного устройства в приемное отверстие аналитического научного прибора требуется дополнительное устройство для подготовки грунта с требуемыми характеристиками. Оно должно обеспечивать отсеивание слишком крупных фракций грунта, нужный объем порции грунта, успешную загрузку в приборы, непросыпание грунта, самоочистку системы и пр. требования.

Хорошим примером необходимости создания устройств подготовки грунта может послужить проект разрабатываемой российской космической миссии «Луна-Ресурс-1». Данный посадочный аппарат включает в состав европейское буровое устройство, способное получать образцы грунта с разных глубин лунной поверхности. При этом на космическом аппарате установлены аналитические научные приборы с разными требованиями к образцам грунта. Поэтому необходимо специальное устройство, подготавливающее образцы грунта в соответствии с требованиями каждого научного прибора.

В данном исследовании рассмотрены различные технические решения подготовки грунта. Это могут быть как стационарные устройства, так и входящие в состав манипулятора. Дальнейшее развитие устройств подготовки грунта может быть использовано и в будущих космических миссиях – не только лунных и марсианских, но и на других малых телах Солнечной системы. Использование подобных устройств может существенно повысить эффективность способов взаимодействия между грунтозаборными устройствами и аналитическими научными приборами.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ШИРОКОДИАПАЗОННЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ РАКЕТНОСИТЕЛЕЙ СВЕРХЛЕГКОГО ТИПА

Н.В. Продан, П.С. Чернышов, А.А. Киршина

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Абсолютное большинство существующих и эксплуатируемых в настоящее время ракет-носителей использует в своей конструкции двигательные установки, применяющие для разгона отбрасываемой реактивной струи традиционные для космонавтики профилированные сопла Лаваля. Сопла Лаваля хорошо изучены и имеют достаточно простую и надежную конструкцию, что обеспечивает успешное выполнение целевых задач для массово эксплуатируемых многоступенчатых ракет-носителей, однако оно имеет некоторые существенные недостатки.

Основным недостатком сопла Лаваля являются большие потери, связанные с работой на нерасчетных режимах течения. В силу невозможности изменения давления на срезе сопла Лаваля в широком диапазоне атмосферных давлений, их использование приводит к наличию глубоких нерасчетных режимов – к существенным потерям тяги. Влияние данного обстоятельства становится критическим для летательных аппаратов, предполагаемых для полета в широком диапазоне высот на единственной двигательной установке.

Перспективной альтернативой малоэффективных для данных целевых задач двигателей с соплами Лаваля могут являться широкодиапазонные ракетные двигатели (ШРД), способные обеспечивать достаточно стабильные тяговые характеристики в широком диапазоне высот и не подверженные большим потерям тяги.

В данной статье было проведено численное исследование истечения реактивной струи из сопла Лаваля и сопла Тарасова-Левина на разных высотах полёта. В качестве сопла Лаваля было взято сопло (включая его рабочие параметры) двигателя РД-120. Сопло Тарасова-Левина было отмасштабировано для соответствия массовому расходу потока, что дает возможность релевантно сопоставлять получаемые тяговые характеристики двух сопел.

По результатам численного исследования сопло Тарасова-Левина, как и предполагалось, показало гораздо меньший разброс значений генерируемой силы тяги по высоте полета, нежели традиционное сопло Лаваля, что, при сопоставимости максимальных параметров тяги, подтверждает перспективность сопла данного вида.

ЧЕРЕНКОВСКИЙ ДЕТЕКТОР РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ

А.Ю. Разумов

*Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

Целью настоящей работы является разработка структурного и функционального облика черенковского детектора для регистрации релятивистских электронов диапазона 3 — 13 МэВ. Помимо этого, рассматривается возможность применения детектора на малом космическом аппарате типа кубсат для регистрации релятивистских солнечных протонов.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ ПАССИВНОЙ НАВИГАЦИИ МЕЖПЛАНЕТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**В.В. Сазонов, И.А. Самыловский, С.В. Соловьёв,
А.М. Савчук, С.С. Морозов**

*Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

При осуществлении миссий в дальнем космосе (маневры, посадка в запланированных районах и т.д.) требуется оперативное определение положения космического аппарата на орбите вокруг небесного тела. В силу объективных трудностей межпланетной связи представляет интерес решение этой задачи с использованием данных от бортовых измерительных приборов (в частности, оптических). Наиболее распространенные из этих приборов выдают либо массивы кватернионов (астродатчики ориентации), либо наборы угловых координат соответствующих реперных объектов (Солнце, планеты). В связи с этим возникает задача определения фазового вектора космического аппарата как решения задачи минимизации следующего функционала, задающего отклонение «промоделированных» измерений (т.е. тех, которые были бы произведены на «промоделированной» траектории, порожденной приближением реального фазового вектора) от реальных (т.е. тех, которые были получены с бортовых приборов):

$$J := \sum_{i=1}^N \|\vec{\mu}_i(t_i) - \vec{\mu}_i^m(t_i; (\vec{r}_m, \vec{v}_m))\|^2 \rightarrow \min_{(\vec{r}_m, \vec{v}_m)},$$

где t_i — моменты измерений, $\vec{\mu}_i$ — измерения, произведенные бортовой аппаратурой в эти моменты времени на реальной траектории КА (размерность каждого из векторов зависит от формы выходных данных соответствующего прибора), а $\vec{\mu}_i^m$ — «промоделированные» измерения, осуществленные теми же приборами и в те же моменты времени, но на траектории, порожденной текущим приближением (\vec{r}_m, \vec{v}_m) реального начального условия (\vec{r}_0, \vec{v}_0) системы уравнений пассивного движения КА. Для поиска решения применяется программная реализация метода Левенберга-Марквардта.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-31-00091)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

**В.В. Сазонов¹, И.А. Самыловский¹, О.В. Морозов¹,
С.В. Пушко², М.Р. Ахмедов³, А.К. Самыловская⁴, М.Б. Каган⁴**

¹ *Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

² *Корпорация ВНИИЭМ*

³ *ПАО РКК Энергия*

⁴ *АО НПП Квант*

В настоящее время наблюдаются две параллельные тенденции, связанные с задачами разработки космических аппаратов. С одной стороны, из-за сложности конструкции космических аппаратов (в частности, растущего использования мощных крупногабаритных антенн) необходим более тщательный учет влияния самозатенения на тепловые режимы КА и исследование эффектов, сопровождающие это явление. С другой стороны, существенное развитие и удешевление устройств, реализующих гетерогенные вычисления, позволяет использовать "обычные" настольные компьютеры для проведения достаточно объемных расчетов на трехмерных моделях КА. Доклад посвящен использованию графических процессоров для расчета теневых картин, прогноза выработки электроэнергии солнечными батареями и расчета тепловых режимов КА с использованием баллистических данных, редактируемых трехмерных моделей с настраиваемыми свойствами материалов и языка разметки солнечных батарей. Приводятся примеры использования такого подхода (фактически, легковесного цифрового двойника КА) для расчетов на примере различных космических аппаратов и исследованию такого потенциально опасного для техники явления как термоциклирование СБ в условиях частичного затенения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРИ МАССЫ МОДЕЛЬНОГО ПОЛИМЕРНОГО ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А.И. Хижик

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана*

Увеличение сроков активного существования изделий космических аппаратов (КА) и все более широкое использование на них полимерных композиционных материалов (ПКМ), обостряет проблемы, связанные с потерей массы этих материалов в условиях эксплуатации. Современный период развития космической техники характеризуется повышенными требованиями к чистоте внешних, особенно оптических, поверхностей КА, связанными с увеличением длительности активного существования изделий и использованием на них высокоточной оптической аппаратуры. Конденсация на чувствительных к загрязнению поверхностях КА продуктов собственной внешней атмосферы (СВА) под воздействием электромагнитных и ионизирующих излучений космического пространства может привести к деградации их функциональных характеристик и оптических свойств до недопустимого уровня. Это, в свою очередь, потенциально ограничивает работоспособность отдельных узлов и срок службы КА в целом. Поэтому, создание прогностических моделей формирования СВА и осаждения её компонентов на отдельных поверхностях КА является актуальными задачами. Для их решения необходимо детально изучить влияния факторов космического пространства (вакуума, температурных режимов, электромагнитного и ионизирующих излучений, остаточной атмосферы Земли и т.д.) на образование в окрестностях КА летучих веществ и их конденсацию на его внешних поверхностях.

Одним из основных источников летучих веществ в условиях космоса являются потеря массы полимерных материалов, используемых на КА. Поэтому, в данной работе проводится исследование потери массы ПКМ – модельных материалов для терморегулирующих покрытий КА, и изучается влияние на этот процесс электронного облучения. Исследуемые ПКМ являются полимерной матрицей с активным наполнителем, адсорбирующим потенциальные продукты газоразделения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ТРАНСФОРМИРУЕМОГО МОДУЛЯ ДЛЯ МКС

Р.Н. Шалимов

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана*

В настоящей работе рассматривается постановка задачи теплового баланса трансформируемого модуля находящегося на низкой околоземной орбите в составе МКС. Исследуется его физическая модель: получение и унос теплоты, механизмы передачи энергии, природа излучения, орбита и затенение аппарата элементами МКС. Приведена математическая модель расчёта теплового режима. Предложена конструктивно-компоновочная схема и проведено численное моделирование процессов теплообмена в конструкции с использованием программного комплекса Siemens NX Space Systems Thermal. Получены максимальные температуры, а также градиент температур по осям X, Y, Z. Проведён анализ поведения температурных полей, даны рекомендации по реализации конструктивно-компоновочной схемы подобного аппарата.



**ТЕОРИЯ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ
ФИЗИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ**

РАСПОЗНАВАНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА ПОСРЕДСТВОМ ВИЗУАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

В.С. Баранова

Белорусский государственный университет

В последние десятилетия с ростом космической деятельности начала появляться новая и неожиданная опасность: космический мусор.

Важно понимать, что такое космический мусор и в чём именно заключается опасность его распространения по космическому пространству.

Количество орбитального мусора растёт. С каждым годом запускается всё больше и больше спутников. Устаревшие спутники могут взорваться или разбиться на части, создавая тысячи новых и более мелких частиц мусора. Во избежание возникновения так называемого эффекта Кеслера, который в последствие может стать причиной ограничения доступа человека в космос, необходимо развивать тенденции создания более точных систем мониторинга неиспользуемых космических объектов, что в свою очередь требуется для более серьёзной задачи- непосредственной утилизации космического мусора.

В данной работе рассматриваются Визуальная Навигация как инструмент поиска и идентификации космических объектов классифицированных, как «космический мусор», учитывая проблемы отсутствия локальных функций детектирования на этих объектах. Особенности визуальной навигации в космическом пространстве автономной системы утилизации- серьёзный вопрос создания методов по очищению заполненных околоземных орбит. В виду этого, предлагается использование на будущих космических аппаратах магнитных платформ с определенной конфигурацией оптических маркеров для детектирования целевого объекта с помощью алгоритмов поиска локальных особенностей на плоскости.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗВЁЗДНОГО ВЕТРА С МАГНИТОСФЕРАМИ ГОРЯЧИХ ЮПИТЕРОВ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ СВЕРХАЛЬФВЕНОВСКОЙ ЗОНЫ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ НА ПРИМЕРЕ HD209458B

Д.А. Бахур^{1,2}, А.Г. Жилкин², Д.В. Бисикало²

¹ Государственный университет Московский физико-технический институт

² Институт астрономии РАН

На сегодняшний день обнаружено 6831 экзопланет, при этом 4122 экзопланеты являются подтверждёнными. Существенную часть открытых экзопланет составляют газовые гиганты, называемые горячими юпитерами. Горячие юпитеры, экзопланеты с массой порядка массы Юпитера, обращающиеся вокруг родительской звезды по очень близкой орбите (многие из горячих юпитеров расположены к своей родительской звезде ближе, чем 0,1 а.е.). Столь близкое «соседство» приводит к тому, что атмосфера горячих юпитеров полностью заполняет их полость Роша, а у многих из них значительная часть атмосферы выходит за пределы полости Роша. По современным представлениям, при такой конфигурации бинарной системы «звезда - горячий юпитер», когда часть атмосферы экзопланеты находится вне полости Роша, материя из атмосферы экзопланеты должна вытекать, перетекать к звезде через точку Лагранжа L1. Что, соответственно, привело бы к исчезновению, коллапсу горячего юпитера и он бы перестал быть наблюдаемым. Взаимодействие звёздного ветра с атмосферой экзопланет, является одним из процессов, сдерживающих разрушение горячих юпитеров в тесных бинарных системах «звезда - экзопланета».

При изучении взаимодействия звёздного ветра с атмосферой горячих юпитеров стоит отметить ещё одну значимую особенность тесной бинарной системы «звезда - экзопланета»: в отличие от планет Солнечной Системы, существенная часть горячих юпитеров находится в субальфвеновской зоне, где скорость звёздного ветра меньше альфвеновской скорости. В субальфвеновской зоне магнитное давление звёздного ветра превышает его динамическое давление, что обязывает нас при построении теоретических моделей и интерпретаций учитывать магнитное поле звёздного ветра. Последние исследования показывают, что при учёте скорости орбитального движения горячих юпитеров критическая альфвеновская точка звёздного ветра смещается таким образом, что часть горячих юпитеров оказывается в субальфвеновской области, часть в сверхальфвеновской области, а часть в переходной зоне.

В данной работе будут представлены результаты моделирования в экваториальной плоскости процессов взаимодействия звёздного ветра с атмосферой горячего юпитера, находящегося вблизи альфвеновской точки со стороны сверхальфвеновской области, на примере системы HD209458b.

УРАВНЕНИЯ МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ В ПРИБЛИЖЕНИИ ТОНКОГО СЛОЯ

О.П. Воробьев^{1,2}, А.С. Петросян^{1,2}

¹ *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

Турбулентные взаимодействия в астрофизике и геофизике часто происходят в тонком слое устойчиво стратифицированной жидкости в присутствии магнитного поля. Такие взаимодействия могут существовать в атмосферах экзопланет или внутренних слоях звезд – например, в солнечном тахоклине. Динамика жидкости в таких ситуациях может быть смоделирована с использованием уравнений магнитной гидродинамики (МГД) в приближении тонкого слоя. В работе дан обзор системы уравнений МГД тонкого слоя в сферических координатах. Обсуждаются свойства такой системы, законы сохранения в этой системе, а также возможность моделирования турбулентности и магнитогиродинамических неустойчивостей.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЫЛИ В ОКРЕСТНОСТИ ЗВЕЗДЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛ РАДИАЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛАЗМЫ

А.А. Грановский, В.В. Измоленов, О.А. Катушкина

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

³ *Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН*

Рассматривается распределение частиц межзвёздной пыли в окрестности звезды под действием сил гравитации, радиационного давления и гидродинамического сопротивления плазмы. Данная работа уточняет ранее полученные результаты для распределения под действием только центральных сил. При учёте сопротивления движению пылинок со стороны плазмы уравнение движения пылинок фиксированного размера зависит от двух безразмерных параметров — числа Маха и степени ионизации плазмы, что позволяет связать геометрию наблюдаемых в инфракрасном свете структур, образованных повышенной концентрацией пыли в окрестности звёзд, не только со свойствами звезды, но и с гидродинамическими свойствами межзвёздной плазмы. Проведено параметрическое исследование, проанализирована асимптотика движения на большом удалении от звезды и построены численные карты концентрации пыли для модельных распределений по размерам.

ОБРАТНЫЙ КАСКАД КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ДВУМЕРНОЙ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА БЕТА-ПЛОСКОСТИ

Т.А. Зиняков¹, А.С. Петросян^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

Представлены численные исследования двумерной однородной магнитогидродинимической турбулентности в β -плоскости. Изучение фундаментальных свойств такой турбулентности позволяет понять эволюцию различных астрофизических объектов от Солнца и звезд до планетных систем, галактик и скоплений галактик. Исследованы энергетические спектры и каскадный процесс в двумерной МГД в β -плоскости.

В данной работе уравнения двумерной магнитной гидродинамики с силой Кориолиса в приближении β -плоскости используются для качественного анализа и численного моделирования процессов в астрофизической плазме. Уравнения решаются на квадратной области размером $(2\pi)^2$ с периодическими граничными условиями с использованием псевдоспектрального метода с деалиасингом по правилу 2/3. Представлены результаты численного моделирования двумерной МГД-турбулентности на β -плоскости с пространственным разрешением 1024×1024 и 4096×4096 с различными параметрами Россби β и различными числами Рейнольдса.

Получено, что в двумерной МГД турбулентности на β -плоскости образуются только нестационарные зональные течения со сложной временной динамикой. Показано, что нестационарность течения обусловлена возникновением изотропных магнитных островов вследствие влияния силы Лоренца. На ранних этапах эволюции двумерной магнитогидродинимической турбулентности на β -плоскости показано формирование спектра Ирошникова–Крайчнана. Исследовано самоподобное затухание спектра Ирошникова–Крейчнана во времени. На больших интервалах времени обнаружено нарушение самоподобного затухания спектра полной энергии и формирование Колмогоровского спектра в инерционном интервале кинетической энергии. Обратный каскад кинетической энергии, характерный для обнаруженного спектра Колмогорова, обеспечивает зарождение зональных течений.

Работа поддержана Фондом развития теоретической физики и математики “Базис” и грантом РФФИ номер 19-02-00016.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ПРОГРАММЕ VISUAL SPACE

А.Г. Кезик

*Факультет радиофизики и компьютерных технологий,
Белорусский государственный университет*

Моделирование движения космических объектов является необходимым как для решения задач проектной баллистики так и баллистики планирования и проведения операций управления космическим аппаратом. Для космических аппаратов это позволяет запланировать сеансы управления и связи, организовать научные эксперименты, решать множество прикладных задач. Зная положение небесных тел в космическом пространстве можно предсказывать различные астрономические явления, организовывать наблюдения и планировать космические миссии, а также учитывать влияние космических объектов на движение околоземных спутников на различных орбитах.

На данный момент существует множество различных платных и бесплатных программ для моделирования движения околоземных космических аппаратов (Heavensat, Previsat) и трехмерных космических симуляторов (Celestia, Space Engine). Была поставлена задача разработать программный продукт, объединяющий функциональные возможности двух типов программ и реализовать новые.

Программа Visual Space позволяет моделировать в режимах реального времени и симулировать с различными временными масштабами орбитальное движение объектов Солнечной системы с обширной базой данных малых тел; орбитальное движение космических аппаратов вокруг выбранной планеты Солнечной системы на основе начального вектора состояния; орбитальное движение космических аппаратов вокруг Земли на основе начального вектора состояния или усредненных орбитальных параметров в формате TLE; параметры слежения наземных станций и параметры принимаемых сигналов выбранного космического аппарата; сценарии совместной работы сети наземных станций приема.

Моделирование производится в трехмерном пространстве, с возможностью отображения орбит и трасс объектов на двухмерной карте Земли, что позволяет наглядно демонстрировать их эволюцию со временем. Программа «Visual Space» позволяет загружать орбитальные параметры космических объектов из текстового файла и из Интернета. При этом составляется список доступных для моделирования объектов. В данном списке также доступна возможность сортировки космических объектов по орбитальным параметрам.

Программное обеспечение позволяет проводить и отображать расчеты орбитальных параметров движения космических аппаратов в различных системах координат; стандартной баллистической информации для заданного пункта наблюдения с возможностью выбора параметров пролета; параметры слежения при одновременной работе нескольких наземных станций и параметры принимаемых сигналов для выбранных космических аппаратов. Более детальная навигационно-баллистическая информация по каждой наземной станции для заданного интервала времени моделирования записывается в файл. Еще одним преимуществом программы является визуализация элементов орбиты космического аппарата, что позволяет ее использовать для обучения сту-

дентов основам баллистики. По желанию можно поэкспериментировать со значениями параметров через соответствующие элементы управления. Программа Visual Space является не только удобным инструментом для моделирования движения космических объектов, но и подходит для обучения студентов аэрокосмических специальностей.

ЧЕТЫРЕХВОЛНОВЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛН ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКЕ В ПРИБЛИЖЕНИИ МЕЛКОЙ ВОДЫ

Д.А. Климачков¹, А.С. Петросян^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

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. Недавние экспериментальные наблюдения крупномасштабных плазменных течений на Солнце и в звездах выполнены на основе изучения магнитных полей или с помощью методов астросейсмологии, что естественным образом мотивирует развитие магнитогидродинамической теории таких течений. Для изучения этих объектов используются магнитогидродинамические уравнения для вращающегося слоя плазмы в приближении мелкой воды.

Упрощенная система магнитогидродинамических уравнений в приближении мелкой воды, используемая в настоящей работе, получается из исходных уравнений магнитной гидродинамики для тонкого слоя вращающейся плазмы во внешнем вертикальном магнитном поле усреднением по глубине в предположении гидростатичности распределения давлений и малости толщины слоя по отношению к характерному горизонтальному линейному размеру задачи. В результате получена система уравнений в приближении мелкой воды, в которой магнитное поле трехкомпонентно, в то время как поел скорости двухкомпонентно.

В работе получены дисперсионные соотношения для линейных волн магнито-Пуанкаре и магнитоострофических волн. Проведен качественный анализ дисперсионных соотношений линейных волн, и сделаны выводы о невозможности трехволновых взаимодействий для определенных типов волн, для которых изучаются четырехволновые взаимодействия. Методом многомасштабных разложений получены уравнения четырехволновых взаимодействий для всех случаев волновых синхронизмов. Для каждого случая исследованы возможные неустойчивости, получено уравнение сохранения энергии.

Работа поддержана Фондом развития теоретической физики и математики «Базис» и грантом РФФИ № 19-02-00016.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ НА МАГНИТОСФЕРЫ ГОРЯЧИХ ЮПИТЕРОВ

Е.А. Колымагина^{1,2}, П.В. Кайгородов¹, А.Г. Жилкин¹,
Д.В. Бисикало¹

¹ *Институт астрономии РАН*

² *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

Горячие юпитеры – планеты, находящиеся чрезвычайно близко к родительской звезде и обладающие массой порядка массы Юпитера. Значительная часть горячих юпитеров заполняет свою полость Роша, что способно приводить к истечению вещества через внутреннюю точку либрации. Ранее авторами была выполнена оценка влияния корональных выбросов масс (КВМ) родительской звезды на темп потери массы и структуру течений для горячего юпитера HD209458b. Однако вычисления проводились для модели атмосферы, состоящей из неионизованного газа, то есть без учета взаимодействия вещества с магнитным полем системы. Учет магнитного поля, тем не менее, представляется необходимым, так как скорость обтекания атмосферы звездным ветром близка к альфвенской скорости, при этом возмущения параметров звездного ветра, в частности КВМ, могут приводить к смене режима обтекания.

В настоящем докладе представлены результаты трехмерного МГД моделирования динамики вещества в оболочке горячего юпитера HD209458b при взаимодействии с КВМ родительской звезды.

Работа была выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-02-00178 “Исследование влияния вспышечной активности родительской звезды на газодинамику атмосфер экзопланет”, гранта РФФИ 20-02-00520 “Новые сценарии и режимы взаимодействия планетарного течения горячих экзопланет с плазменным ветром звезд” и с использованием вычислительных ресурсов ОВК НИЦ «Курчатовский институт», <http://computing.nrcki.ru/>.

АДАПТИВНОЕ ПЕРЕСТРОЕНИЕ НЕСТРУКТУРИРОВАННОЙ ЛАГРАНЖЕВОЙ СЕТКИ В ТРЕХМЕРНОМ СЛУЧАЕ

А.С. Красиков¹, С.Г. Моисеенко²

¹ *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

Численное моделирование является незаменимым инструментом при исследовании вопросов связанных с явлениями коллапса вращающихся астрофизических объектов, происходящих в протозвездных облаках или сверхновых. Вычислительный эксперимент обычно производится либо в Лагранжевых переменных, либо в Эйлеровых. Оба подхода имеют свои недостатки, которые в некоторых ситуациях могут приводить к потере точности.

В качестве элементарной ячейки в трехмерном случае обычно выбирается тетраэдр, а в двумерном – треугольник, как наиболее простые геометрические объекты. Результатом данной работы является разработка адаптивного алгоритма перестройки лагранжевой расчетной сетки с целью повышения точности решения. Необходимость её изменения зачастую связана с искажением или вырождением тетраэдров при движении узлов сетки особенно при наличии неоднородного расширения или сжатия вещества. Помимо исправления и адаптации сетки, в работе предложены критерии качества тетраэдров и процедура пересчета сеточных функций.

Алгоритм и необходимые структуры данных реализованы на языке C++. Применение этого подхода позволяет производить моделирование течений с большими перепадами параметров. Сгущение и разряжение там, где это необходимо, уменьшают количество требуемой памяти и ускоряют скорость вычислений.

РОЛЬ СИГНАЛОВ НАЗЕМНЫХ ОНЧ ПЕРЕДАТЧИКОВ В ДИНАМИКЕ ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ ЗЕМЛИ

А.А. Лужковский^{1,2}, Д.Р. Шкляр^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

Исследование механизмов ускорения энергичных электронов радиационных поясов Земли до настоящего времени остается актуальной задачей физики магнитосферной плазмы. В последнее время интерес к изучению этого вопроса возрос благодаря запуску спутников Van Allen Probes и ARASE(ERG). В частности, спутники Van Allen Probes работают непосредственно в радиационных поясах и предназначены для исследования явлений в космической плазме.

Одним из важных механизмов ускорения электронов радиационных поясов является механизм, связанный с резонансным взаимодействием электронов с различными типами волн. Значительную роль в этом взаимодействии играют свистовые волны, поскольку для них значения резонансной энергии лежат в диапазоне от единиц до сотен кэВ и близки к энергиям энергичных электронов радиационных поясов. Существуют три основных механизма генерации свистовых волн в магнитосфере Земли. К ним относятся: генерация волн в результате развития циклотронной неустойчивости, возбуждение свистовых волн излучением молниевых разрядов и непосредственное излучение свистовых волн сигналами наземных ОНЧ передатчиков, поскольку ОНЧ диапазон (3 – 30 кГц) отвечает в магнитосферной плазме свистовым волнам. Взаимодействие энергичных электронов с сигналами наземных ОНЧ передатчиков в неоднородной плазме изучено в данной работе на временах, существенно превосходящих баунс период электронов. Нами предполагается, что свистовая волна, излучаемая наземным ОНЧ передатчиком, распространяется вдоль силовой линии магнитного поля Земли (дактированное распространение). Исследование данной задачи с учетом релятивистских эффектов обусловлено тем, что абсолютное значение скорости электронов, взаимодействующих со свистовой волной на первом циклотронном резонансе, на больших широтах становится соизмеримым со скоростью света.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-02-00179.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ НА МАРСИАНСКОМ ГРУНТЕ- АНАЛОГЕ

В.Ю. Маковчук¹, Е.А. Гришакина¹, З.С. Ежелев²,
В.С. Чепцов^{2,3}, А.А. Белов²

¹ *Институт Геохимии и Аналитической Химии
им. В.И. Вернадского*

² *Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

³ *Институт космических исследований РАН*

Исследование возможности выращивания растений на космических кораблях в условиях других планет является одним из ключевых этапов планирования пилотируемых межпланетных полетов и создания баз на различных телах Солнечной системы. Одним из наиболее перспективных космических объектов с точки зрения осуществления межпланетного пилотируемого перелета и создания поселений является Марс. Предполагается, что на Марсе возможно создание оранжерей с условиями, пригодными для выращивания растений. В связи с этим активно ведется поиск оптимальных параметров для выращивания культур в этих оранжереях, ведется поиск растений и условий, дающих наибольшую биомассу и требующих наименьших затрат ресурсов, включая энергоресурсы, воду, минеральные вещества и др. Очевидно, что в ходе первых межпланетных пилотируемых миссий доставка на Марс грунта для выращивания растений практически невозможна, потому исследование марсианского реголита в качестве субстрата для растений является одним из ключевых вопросов требующих решения для осуществления подобных миссий. Нами предлагается исследование роста гороха и пшеницы на аналоге грунта, имитирующем физико-механические свойства реголита поверхности Марса, который был разработан в рамках проекта «ЭкзоМарс-2020». Предполагается проведение вегетационных опытов в оранжерее с контролем освещенности, режима увлажнения, температурного режима, газового состава атмосферы и влажности воздуха, объемов внесения удобрений. Также предполагается исследование влияния ряда бактериальных препаратов на рост растений и контроль развития условно патогенных и фитопатогенных микроорганизмов в ризосфере растений. В результате выполнения проекта будут определены оптимальные условия выращивания указанных растений в условиях оранжереи на аналоге грунта, имитирующем физико-механические свойства реголита поверхности Марса.

СУПЕРСИММЕТРИЧНЫЕ МОДЕЛИ С НАРУШЕННОЙ ЛОРЕНЦ-ИНВАРИАНТНОСТЬЮ В ГРАВИТАЦИИ И ТЕОРИИ ПОЛЯ

А.О. Маракулин

Институт ядерных исследований РАН

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 суперсимметричным моделям с нарушенной Лоренц-инвариантностью, вопросам их существования, единственности и феноменологии. Систематически рассмотрены случаи скалярного, векторного и гравитационного супермультиплетов, минимальной и расширенной суперсимметрии. Основное внимание уделено построению теории супергравитации с нарушением Лоренц-инвариантности - суперсимметричному обобщению Эйнштейн-эфир теории. Суперсимметричная модель гравитационного супермультиплетта рассмотрена как с использованием суперполевого формализма, так и в терминах компонентных полей. Построена и подробно изучена теория линейризованной супергравитации с нарушенной Лоренц-инвариантностью, основанная на конструкции суперполя эфира, гравитационного суперполя и линейного компенсатора, характерного для неминимальных моделей $N=1$ супергравитации. Получен лагранжиан теории в суперполях, проведено интегрирование по суперпространству, а также отынтегрирование вспомогательных полей в бозонном секторе модели. В рамках формализма компонентных полей проанализирован супертоковый супермультиплет теории, прояснена структура фермионного сектора теории. Рассмотрено нелинейное обобщение модели Лоренц-нарушающей супергравитации в рамках суперполевого формализма Весса с дальнейшим интегрированием по суперпространству. Проведена линейризация построенной теории, установлено соответствие между формализмами линейной и нелинейной моделей. Проанализированы феноменологические следствия построенной теории.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю С.М. Сибирякову. Часть результатов данной работы получена в рамках проекта РФФИ 14-02-31429.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ С $Z > 2$ ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРУ ЗЕМЛИ

Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин

Полярный геофизический институт

Основную часть потока первичных космических лучей составляют протоны, однако в их состав также входят и ядра тяжелых элементов, у которых зарядовое число $Z > 2$. Эти частицы, проходя верхние, неплотные, слои атмосферы Земли теряют свою энергию на ионизацию. Однако нами сделано предположение, что при относительно высокой энергии (от 1 ГэВ и выше на нуклон) для ядер увеличивается вероятность испытывать неупругие соударения, в ходе которых будут рождаться каскады вторичных космических лучей. В этой работе представлены результаты расчетов, полученные путем моделирования прохождения ядер кислорода и углерода через атмосферу Земли при помощи программного комплекса RUSCOSMICS. Показаны численные оценки их вклада в скорость образования пар ионов для диапазона высот от 0 до 80 км (область нижней атмосферы) и локации, соответствующей географическому положению г. Апатиты (высокие широты).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-77-10018.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПРОБНОЙ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В СТАЦИОНАРНЫХ ГАЛАКТИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Е.А. Михайлов, К.Ю. Малышев

*Физический факультет, Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова*

В настоящее время хорошо известно, что во многих галактиках присутствует крупномасштабное магнитное поле величины порядка 1 мкГс. Его существование объясняется совокупным действием дифференциального вращения и т.н. альфа-эффекта, связанного с мелкомасштабными турбулентными движениями межзвёздного газа. Известно, что крупномасштабное магнитное поле не может существовать без мелкомасштабной случайной компоненты, имеющей тот же порядок величины, что и крупномасштабная. Перечисленные особенности магнитного поля галактик описываются при помощи теории галактического динамо. В настоящей работе мы исследуем движение заряженной пробной частицы, имеющей массу порядка 10^{-13} - 10^{-14} г, под действием силы Лоренца со стороны галактического магнитного поля, сил гравитационного притяжения к центру галактики и сопротивления межзвёздного газа. Оценивается время нахождения частицы внутри галактического диска, значение предельной скорости частицы и другие параметры. Рассматриваются последовательно усложняющиеся модели магнитного поля: двумерные (линии магнитного поля параллельны плоскости галактического диска) крупномасштабные; двумерные крупномасштабные, учитывающие наличие мелкомасштабного магнитного поля; затем - трёхмерные модели. Показано, что для некоторых двумерных моделей движение заряженной частицы может быть описано аналитически в рамках приближения ведущего центра – при помощи системы уравнений Боголюбова-Зубарева. Аналитические результаты сравниваются с численными расчётами. Трёхмерные модели и модели с мелкомасштабным полем изучены численно. Получено, что для некоторых начальных условий, представляющих интерес с точки зрения моделирования движения космической пыли, влиянием третьей компоненты магнитного поля можно пренебречь.

Литература

1. Mikhailov E. A., Sibgatullin I. N. Magnetic fields in the outer rings of galaxies and turbulent motions // Magnetohydrodynamics. — 2019. — no. 1/2. — P. 133–140.
2. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А., Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний, М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1958.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИОНОВ КИСЛОРОДА $O^{+}-O^{+8}$ С ДИПОЛИЗАЦИОННЫМИ ФРОНТАМИ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТЬЮ КАК МЕХАНИЗМА ПОПОЛНЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Е.И. Пархоменко¹, Х.В. Малова^{1,2}, В.Ю. Попов^{1,3,4},
М.И. Панасюк², Н.А. Власова¹, В.В. Калегаев¹,
Л.М. Зеленый¹

¹ *Институт Космических исследований РАН*

² *НИИ ядерной физики имени Д. В. Скобельцына МГУ*

³ *Физический факультет, Московский государственный
университет им. М.В.Ломоносова*

⁴ *Национальный исследовательский университет Высшая
школа экономики*

Исследуются механизмы пополнения кольцевого тока многозарядными ионами кислорода в результате их ускорения в период магнитосферных суббурь. Установлено, что с приходом множественных фронтов диполизации происходит многократное увеличение энергий ионов кислорода до максимального значения порядка $E \approx 7$ МэВ (O^{+8}). В результате действия такого процесса все сорта частиц способны оказаться в кольцевом токе в процессе переноса на диполизационных фронтах. Ионам $O^{+3}-O^{+8}$ требуется дополнительный механизм, такой как плазменная электромагнитная турбулентность, за счет которого они могут достигнуть энергий порядка $E \approx 2 - 7.5$ МэВ, близких к усредненному экспериментально наблюдаемому в области кольцевого тока. Показано, что спектры многозарядных ионов почти подобны в представлении E/Q .

ДВУМЕРНАЯ ДИНАМИКА ПРОНИКНОВЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ИЗ ОКОЛОЗЕМНОЙ ПЛАЗМЫ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМЛИ

С.А. Прохоренко, Д.Р. Шкляр

¹ *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

Свистовые волны, формируемые излучением молниевых разрядов, распространяются вдоль магнитосферных траекторий в противоположное полушарие. Расчет распространения этих волн в приближении геометрической оптики показывает, что такая волна должна испытать полное внутреннее отражение. Однако свисты наблюдаются на земле. В данной работе делается попытка объяснить это несоответствие между теорией и экспериментом.

Ранее в работах на эту тему процесс выхода свиста на Землю рассматривался как стационарный, а зависимость поля от горизонтальной координаты предполагалась гармонической. В реальной же ситуации данные предположения не справедливы. В соответствии с этим, в данной работе рассмотрена динамическая двумерная задача с начальным условием в виде пространственно-ограниченного волнового пакета. Процесс исследован на основе модельного уравнения для векторного потенциала, описывающего распространение поперечных электромагнитных волн.

На основе численных расчетов изучен случай как вертикального падения, так и падения под углом, лежащим вне конуса прохождения. Сначала использовались профили плотности электронов, моделирующие только скачок при переходе из нейтральной части атмосферы в E-слой ионосферы, и была рассмотрена зависимость решения от ширины скачка. Затем справедливость теоретических выводов была проверена для случая более реального профиля. В результате исследования были получены следующие выводы. При вертикальном падении, как и в стационарном случае, отраженная часть пакета тем больше, чем меньше отношение ширины скачка к характерной длине волны в плазме. При падении под большим углом, в отличие от стационарной теории ПВО, всегда существует небольшая часть волнового поля, которая проходит на Землю, а поле волны во время прохождения подобно полю от источника малого размера, находящегося на границе раздела плазма-вакуум и излучающего квазисферические волны в атмосферу.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-02-00179.

ПЛАЗМЕННО-ПЫЛЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗЕМНОЙ И МАРСИАНСКОЙ ИОНОСФЕРАХ

Ю.С. Резниченко^{1,2}, А.Ю. Дубинский¹, С.И. Попель^{1,2,3}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Государственный университет Московский физико-технический институт*

³ *Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики*

Предлагается самосогласованная модель пылевой плазмы в ионосферах Земли и Марса. Исследуется формирование пылевых структур из первоначального облака зародышей с учетом процессов конденсации углекислого газа и воды, а также рассматривается дальнейшая эволюция сформированных структур. Оцениваются характерные значения размеров пылевых частиц и их зарядов.

Обсуждается распространение линейных и нелинейных волн в запыленной атмосфере Марса, в том числе пылевых звуковых солитонов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-02-00341-а).

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СДВИГОВОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

С.И. Сафонов¹, А.С. Петросян^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский физико-технический институт*

Работа посвящена изучению спектральных и топологических характеристик турбулентного течения космической плазмы в приближении магнитной гидродинамики с помощью метода быстрых искажений. Теория быстрых искажений является методом линейного анализа для вычисления турбулентных течений, изменяющихся под действием разнообразных искажений, таких как крупномасштабный градиент скорости течения, магнитное поле, эффекты граничных поверхностей и массовых сил. В работе теория быстрых искажений обобщена для однородных турбулентных течений космической плазмы в приближении магнитной гидродинамики и сформулированы условия ее применения. Основное предположение метода состоит в том, что турбулентное поле скорости и магнитное поле реагируют на некоторый внешний эффект настолько быстро, что нелинейные эффекты оказывают пренебрежимо малое влияние на статистические характеристики течения. Получен общий вид разложения спектрального тензора поля скорости и магнитного поля на изотропную и анизотропную части. Выделены энергетические и топологические параметры и приведен их физический смысл. Получена замкнутая система уравнений для энергии, спиральности и поляризации турбулентных поля скорости течения и магнитного поля. Исследованы развитие изначально изотропной однородной магнитогиродинамической турбулентности при наличии крупномасштабного сдвига скорости и внешнего магнитного поля и переход к анизотропии. Обсуждается влияние вращения на динамику турбулентности. Получены модельные уравнения для гидродинамической, перекрестной и токовой спиральностей.

Работа поддержана грантом РФФИ №19-02-00016.

ЛОКАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПРОТОПЛАНЕТНЫХ ДИСКАХ

Е.А. Семенюк^{1,2}, А.С. Петросян^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский физико-технический институт*

Основной целью данной работы является моделирование турбулентного потока в протопланетном диске. Для достижения поставленной цели используется упрощенная модель турбулентного потока, имитирующая локальные свойства астрофизических дисков. Локальное приближение заключается в том, что получающиеся уравнения для возмущений на устойчивом основном потоке совпадают с исходными глобальными уравнениями в небольшой области вокруг фиксированной точки в диске. К преимуществам данного подхода по сравнению с глобальным решением уравнений относятся упрощенное численное моделирование и простота в определении граничных условий. Кроме того, упрощенная модель успешно демонстрирует развитие неустойчивостей, характерных для протопланетных дисков, а также нелинейные особенности трехмерного турбулентного течения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-02-00016.

УСЛОВИЕ СИЛОВОГО БАЛАНСА В ТОКОВОМ СЛОЕ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ ИЗ ПРОТОНОВ И ЗАМАГНИЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

П.В. Сецко¹, О.В. Мингалев¹, И.В. Мингалев¹,
Х.В. Малова^{2,3}, М.Н. Мельник¹, А.В. Артемьев³,
О.В. Хабарова⁴

¹ Полярный геофизический институт

² Научно-исследовательский институт ядерной физики
им. Д.В. Скобельцына МГУ

³ Институт космических исследований РАН

⁴ Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН

В работе рассматривается проверка выполнения условия силового баланса в стационарных тонких токовых слоях (далее ТТС) в бесстолкновительной плазме из протонов и замагниченных электронов. При помощи численной модели стационарного пространственно 1-мерного ТТС с заданной нормальной компонентой магнитного поля получен набор конфигураций ТТС двух типов: симметричные конфигурации и конфигурации с колоколообразной сдвиговой (шировой) компонентой. Для этих конфигураций контролируется вклад различных слагаемых в выполнение условия силового баланса.

Уравнение силового баланса для бесстолкновительной плазмы, состоящей из протонов и замагниченных электронов, выводится из уравнения потока импульса для протонов, записанного через плотность тока. В этом уравнении электрическое поле выражается через магнитное поле и дивергенцию тензора давления электронов из условия полного силового равновесия замагниченных электронов.

Из уравнения силового баланса получено условие силового баланса в стационарном пространственно 1-мерном токовом слое с учетом анизотропии давления электронов в форме закона сохранения. Это условие необходимо, в частности, для правильной постановки граничных условий в моделях токовых слоев, а также для контроля качества этих моделей.

Работа Х.В. Маловой и О.В. Хабаровой поддержана грантом РФФИ 19-02-00957.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ДИНАМИКУ МАГНИТНОЙ И КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЙ В ТРЕХМЕРНОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЛАЗМЕ

Р.А. Сиразов¹, А.С. Петросян^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

Работа посвящена изучению спектров энергии трехмерной вырождающейся магнитогидродинамической турбулентности в плазме, характерной для различных астрофизических и геофизических объектов. Основным объектом исследований является зависимость пространственно-временной динамики трехмерной магнитогидродинамической турбулентности от изменения спектральных характеристик начальных условий.

В качестве исходных используем уравнения магнитной гидродинамики при наличии вращения и внешнего магнитного поля, пренебрегая эффектами сжимаемости и стратификации. Для численного моделирования системы уравнений используется псевдоспектральный метод с деалиасингом по правилу 2/3. В качестве временной схемы используется метод предиктор-корректор. Представлены результаты численных моделирований трехмерной магнитогидродинамической турбулентности на пространственной кубической сетке $512 \times 512 \times 512$ с периодическими граничными условиями.

Показано, что при использовании начальных условий, соответствующих стационарному состоянию спектра турбулентной энергии, время адаптации системы к начальным условиям уменьшается на порядок, что позволяет значительно уменьшить необходимое для расчётов время.

Работа поддержана Фондом развития теоретической физики и математики «Базис» и грантом РФФИ № 19-0200016.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИОНОСФЕРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ РАДИОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ОПРЕДЕЛЕННЫМИ СЕЙСМИЧЕСКИМИ ИСТОЧНИКАМИ ДЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ГАИТИ В НАЧАЛЕ 2010 ГОДА

М.А. Титова^{1,3,4}, В.И. Захаров², С.А. Пулинец^{1,4}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова*

³ *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН*

⁴ *Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН*

Мощность землетрясения по данным USGS (U.S. Geological Survey) на Гаити 12 января 2010 г. в 21:53:10 UTC, привлекает к нему пристальное внимание, так как это позволяет более детально рассмотреть взаимодействие системы литосфера-атмосфера-ионосфера. Геомагнитная обстановка в указанный период была в целом невозмущенной по данным WDC, Куото (<http://wdc.kugi.kuoto-u.ac.jp/dstae>), до 20 нТл. Следовательно, изменения в структуре ионосферы, зарегистрированные в рассматриваемый период мониторинга, не могут объясняться только вариациями магнитного поля Земли и солнечной активностью. Основному толчку предшествовала серия форшоков, начавшихся 02 января с магнитудой 4.2 и продолжавшихся с нарастающей интенсивностью до 09 января. Землетрясение магнитудой 5.1 было зафиксировано 11 января 2010 года. После основного толчка было зарегистрировано более сорока афтершоков с магнитудой 4.2 и выше. В районе землетрясения накапливается энергия порядка 10 ПДж (10^{15} Дж).

Геофизический анализ результатов позволяет произвести привязку, т.е. получить проекцию на поверхность Земли, где расположен источник регистрируемых на ионосферных высотах возмущений плотности электронной концентрации. Полученные данные о локализации ионосферных неоднородных структур, непосредственно к географическому местоположению, показывают их идентичное расположение (в пределах указанной точности) с границами тектонических плит, разломов и областей их движений. Сравнивая области, хорошо просматриваются, в качестве источников возмущений ряд зон в Мексиканском заливе, что связано, во-первых, с нагонными явлениями и волнами на мелководье, на которых при обтекании воздушными массами генерируются волновые возмущения. Во-вторых, с образованием турбулентных вихрей при изменении подстилающей поверхности, как например, при выходе ветровых масс на сушу. Установлено, что неоднородные структуры ионосферы, обнаруженные методом GPS-интерферометрии на выбранной наблюдательной сети, географически связаны с местами орографических возмущений.

ЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ В ТРЕХМЕРНЫХ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ТЕЧЕНИЯХ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЛАЗМЫ В ПРИБЛИЖЕНИИ БУССИНЕСКА

М.А. Федотова, А.С. Петросян

Институт космических исследований РАН

В данной работе исследуются линейные магнитогидродинамические волны в устойчиво стратифицированном вращающемся слое плазмы в поле силы тяжести в приближении Буссинеска. Учет силы Кориолиса произведен в четырех различных приближениях: на f -плоскости, на нестандартной f -плоскости (с учетом горизонтальной компоненты силы Кориолиса), на β -плоскости и на нестандартной β -плоскости. Полученные дисперсионные соотношения на f -плоскости и на нестандартной f -плоскости разрешимы аналитически в явном виде и описывают два типа волн, динамика которых определяется наличием магнитного поля, стратификации и вращения: трехмерные магнитные инерционно-гравитационные волны и трехмерные магнитострофические волны. Дисперсионные соотношения на β -плоскости и на нестандартной β -плоскости неразрешимы аналитически в явном виде. В низкочастотном пределе в данных приближениях сферических течений найдены трехмерные волны магнито-Россби. Показано, что в приближении горизонтальных потоков дисперсионные соотношения полученных волн магнито-Россби описывают двумерные волны магнито-Россби, аналогичные полученным в магнитогидродинамической теории мелкой воды.

Показано, что дисперсионное соотношение трехмерных магнитных инерционно-гравитационных волн, распространяющихся в горизонтальной плоскости, в приближении f -плоскости описывает волны Альфвена, а в приближении нестандартной f -плоскости описывает двумерные магнитные инерционно-гравитационные волны. Дисперсионное соотношение трехмерных магнитострофических волн, распространяющихся в горизонтальной плоскости, в приближении f -плоскости описывает магнитогравитационные волны, а в приближении нестандартной f -плоскости описывает двумерные магнитострофические волны. Приближение горизонтальных течений в дисперсионном соотношении на β -плоскости дает решение в виде двух типов волн магнито-Россби и магнитогравитационных волн.

Работа поддержана Фондом развития теоретической физики и математики «Базис» и грантом РФФИ № 19-02-00016.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ИНВЕРСИЙ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ГАЛАКТИК И РОЛЬ СЛУЧАЙНЫХ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ В ИХ ВОЗНИКНОВЕНИИ

Т.Т. Хасаева, Е.А. Михайлов

*Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова*

На данный момент известно, что в большом количестве спиральных галактик присутствует магнитное поле порядка 1 мкГс. Его эволюция описывается так называемым механизмом динамо, который включает в себя альфа-эффект, характеризующий турбулентные движения вещества, и дифференциальное вращение. Есть наблюдательные доводы в пользу того, что в некоторых галактиках, таких как Млечный путь, магнитное поле в разных частях имеет противоположные направления, демонстрируя так называемые инверсии [Van Eck et al. 2011, Андреасян и др., 2020]. С теоретической точки зрения данный процесс может быть описан с помощью теории контрастных структур, хорошо известной в математической физике [Михайлов 2015]. Отдельный вопрос связан с эволюцией инверсий со временем и ролью начальных условий в их возникновении.

С целью исследования этого вопроса нами была использована α - ω модель в галактическом динамо, которая использует тот факт, что галактический диск достаточно тонкий и дает результаты, близкие к наблюдаемым. Первоначально уравнения решались в одномерном случае, что является достаточным для задач подобного рода. Показано, что начальные условия синусоидальной формы позволяют получить инверсию магнитного поля [Mikhailov & Khasaeva 2019]. Тем не менее, в случае реальных объектов начальные условия носят, как правило, случайный характер. Нами была показана возможность возникновения инверсий в случае, когда начальное магнитное поле описывается стохастическими закономерностями, а уравнения для поля содержат зависимость как от расстояния до центра, так и от угла.

Также определенный интерес представляет эволюция со временем контрастных структур, отвечающих инверсиям. Нами была получена оценка для скорости их движения, исследована ее зависимость от кинематических параметров межзвездной среды [Mikhailov & Khasaeva 2019].

Литература

1. J. C. Brown, J. M. Stil, K. Rae et al, *ApJ*, 728, 97 (2011).
2. Р.Р.Андреасян, Е.А.Михайлов, А.Р.Андреасян. *Астрон.журн.*, 97, 3 (2020).
3. Е.А.Михайлов. *Вестн. Моск. ун-та Физ.Астрон.*, 2, 27 (2015).
4. E.Mikhailov, T.Khasaeva. *BgAJ*, 31, 39 (2019).

ХАОТИЧЕСКИЙ РАДИОИМПУЛЬС НА МЕЖПЛАНЕТНОЙ ТРАССЕ

Ю.С. Худышев

*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 хаотическими характеристиками (амплитудой и несущей), которые могут сопровождать его распространение в бесстолкновительной плазме на трассах, интегральные электронные содержания (ТЕС) которых характерны для межпланетных расстояний. Скачки амплитуды и несущей моделируются на основе отображения Чебышева первого рода третьего порядка.

Введение в расчет хаотической амплитуды обеспечивает усиление хаотизации, что проявляется, в том числе в заметном смещении центра тяжести спектра и позволяет добиться более сильной хаотизации импульса по сравнению с импульсом, обладающим только хаотической несущей. Это способствует увеличению скрытности сигнала при его передаче.

Незначительное изменение начальных параметров отображения Чебышева ведет к потере корреляции принимаемого сигнала с заданным вручную контрольным сигналом, что заметно усложняет процесс детектирования необходимой информации посторонними наблюдателями.

Выполнен анализ корреляционных функций деформированного импульса и возможный вклад излучения плазменной среды в напряженность поля регистрируемого в конце трассы.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАРЯДКИ НЕСФЕРИЧНОЙ ПЫЛЕВОЙ ЧАСТИЦЫ В ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ

Г.Н. Шиникулова, К.Е. Нургалиева

Казахский Национальный университет

им. Аль-Фараби

В процессах происходящих при описании серебристых облаков и полярных мезосферных радиоотражений немалый вклад вносят пылевые частицы различных форм [1-3]. В предлагаемой работе исследованы особенности зарядки несферичной пылевой частицы на высотах мезосферы. Расчеты проводились для ионосферной плазмы на высотах 80 – 95 км с температурой 150° К и концентрацией электронов и ионов около 10^{10} м^{-3} . Частота ионов составляет около 105 с^{-1} .

Литература

1. S.I. Kopnin, A.A. Morzhakova, S.I. Popel, P.K. Shukla, Processes Accompanying the Charging of Dust Grains in the Ionospheric Plasma. Plasma Physics Reports, 2011, Vol. 37, No. 8, pp. 696–706
2. Б.А. Клумов, С.В. Владимиров, Г.Е. Морфилл, Особенности пылевых структур в верхней атмосфере Земли. Письма в ЖЭТВ, Т.82, вып. 10, с 714-719
3. И. Н. Середа, А. Ф. Целуйко, Зондовые методы диагностики плазмы. Уч. Пособ., Харьков, 2015

ПОИСК ВОЗМОЖНОСТИ ПОДАВЛЕНИЯ ФОТОНА В РАСПАДЕ ЧАСТИЦЫ СКРЫТОЙ МАССЫ, ПРИ ОБЪЯСНЕНИИ e^-e^+ – АНОМАЛИИ В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

Е.С. Шлепкина, К.М. Белотский

*Национальный исследовательский ядерный университет
Московский инженерно-физический институт*

В 2009 году спутниковый эксперимент «PAMELA» обнаружил аномальный избыток позитронов в космических лучах на энергиях порядка 100 ГэВ и выше. Данная аномалия не может быть объяснена стандартными моделями, описывающими производство космического излучения. Одной из гипотез происхождения такого избытка позитронов, является распад или аннигиляция частицы скрытой массы по лептонным модам. Однако, при таких попытках описать позитронные спектры на высоких энергиях, возникает противоречие с изотропным космическим гамма-фоном. Излучение в конечном состоянии (FSR) неизбежно возникает в процессах распада/аннигиляции частицы скрытой массы в заряженные лептоны.

В данной работе предпринимаются попытки построения моделей скрытой массы, в которых было бы возможно подавление FSR. Изучаются возможности подавления как за счет пространственного распределения плотности скрытой массы, так и за счет ее физики взаимодействия. В частности, последнее может зависеть от нескольких механизмов подавления. Один из них связан с усложнением мод распада/аннигиляции скрытой массы и модификации Лагранжиана взаимодействия. Также изучался вклад в подавление фотона так называемой «Однофотонной теоремой» за счет тождественности фермионов в конечном состоянии. Было показано, что тождественность фермионов действительно позволяет подавить выход гамма-излучения в лептофильных модах распада/аннигиляции скрытой массы на $\sim 30\%$.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛН В СЖИМАЕМОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ В ПРИБЛИЖЕНИИ МЕЛКОЙ ВОДЫ

М.А. Юденкова¹, Д.А. Климачков², А.С. Петросян^{1,2}

¹ *Национальный исследовательский институт*

Московский физико-технический институт

² *Институт космических исследований РАН*

В работе изучаются волны во вращающейся сжимаемой жидкости в приближении мелкой воды. Такие волны определяют крупномасштабную динамику таких объектов, как атмосфера Земли и других планет, аккреционные диски.

Система уравнений сжимаемой жидкости в приближении мелкой воды получена усреднением по глубине системы уравнений Эйлера для сжимаемого слоя жидкости в предположении гидростатического распределения давления и малости толщины слоя по отношению к характерному горизонтальному размеру задачи.

Рассматриваются два вида течений: течение сжимаемой жидкости с полным учетом силы Кориолиса и течение на бета-плоскости. В первом случае решением линеаризованной системы решением являются линейные волны Пуанкаре. Во втором случае – высокочастотные волны Пуанкаре и низкочастотные волны Россби, возникающих в следствии неоднородности силы Кориолиса.

Для течения на бета-плоскости в линейном приближении дисперсионные соотношения имеют вид:

$$\omega = - \frac{\beta a_0^2 g k_x}{f_0^2 + a_0^2 g k^2}$$

$$\omega^2 = f_0^2 + a_0^2 g k^2$$

Для полученных дисперсионных соотношений проведен качественный анализ и сделаны выводы о возможности трёхволновых взаимодействий для каждого типа волн в сжимаемой жидкости.



ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ

ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ОБЛАСТЯХ МАРСА

М.С. Александрина

*Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

Целью работы является определение плотностных неоднородностей в приповерхностных слоях Марса по данным топографии и гравитационного поля.

Данная работа актуальна в связи с тем, что на данный момент на Марсе работает сейсмометр, и знание плотностной структуры важно для интерпретации сейсмических данных. Он расположен на равнине Элизий, недалеко от линии дихотомии – границы между равнинным северным полушарием и горным южным

В работе представлены результаты численных расчетов с помощью метода S-аппроксимаций (Stepanova, 2008, 2009), с разложением по сферическим гармоникам данных топографии (Smith и др., 2001) и гравитационного поля Марса (модель MRO120D) (Konopliv и др., 2016) до 90 степени и порядка. При сложном рельефе поверхности линейные трансформации поля, которые получаются при помощи модифицированного метода S-аппроксимаций, правильно отражают физико-геологические особенности исследуемых областей (Stepanova и др., 2018). Входные параметры – данные топографии и гравитационного поля.

В рамках исследования был рассмотрен участок – от 30° южной широты до 10° северной широты и от 120° до 180° восточной широты. Перепад высот рельефа на исследуемом участке составляет 8 км. Площадь участка 60x40 град (около 3600x2400 км). Исходные данные представляют собой цифровые модели рельефа с шагом 1 градус. Общее число заданных точек составляет 2501.

Исходные данные аномального гравитационного поля Марса в рассматриваемой области характеризуются сложным строением поля, амплитуда поля на поверхности изменяется от -250 мГал до 450 мГал. Результаты выявили наличие плотностных неоднородностей в выбранном регионе.

ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ОБЛАСТЯХ МАРСА ДЛЯ ДВУХ ПЕРЕКРЫВАЮЩИХСЯ УЧАСТКОВ В РАЙОНЕ ЛИНИИ ДИХОТОМИИ

А.В. Батов^{1,2,3}, А.М. Сальников¹

¹ *Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*

² *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

³ *НТУ «Сириус», Сочи*

В работе рассмотрены два частично перекрывающихся друг друга участка: первый участок – от 30° южной широты до 15° северной широты и от 90° до 190° восточной долготы, амплитуда поля на поверхности -260 – 420 мГал, перепад высот рельефа 8,3 км, 4646 заданных точек; второй участок – от 30° южной широты до 30° северной широты и от 155° до 190° восточной долготы, амплитуда поля на поверхности -164 – 420 мГал, перепад высот рельефа 8,9 км, 2196 заданных точек.

Исходные данные представляют собой цифровые модели рельефа и гравитационного поля с шагом в один градус. Области исследования включают в себя линию дихотомии, границу между равнинным северным полушарием и горным южным, в районе равнины Элизий, в западной части которой установлен сейсмометр миссии InSight.

В работе представлены результаты численных расчетов с помощью метода S-аппроксимаций (Stepanova, 2008, 2009), с разложением по сферическим гармоникам данных топографии (Smith и др., 2001) до 90 степени и гравитационного поля Марса (модель MRO120D) (Konopliv и др., 2016).

Результаты численных расчетов выявили наличие плотностных неоднородностей в исследуемых областях. В работе также проведено сравнение результатов численных расчетов с помощью метода S-аппроксимаций для области, общей для каждого из исследуемых участков, на основе двух разных наборов исходных данных.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-51014.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ МАРСА НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ СКЛОНОВЫХ ПОЛОС

**Е.С. Брусникин, Н.А. Козлова,
К.Э. Кабальеро Энрике**

*Московский государственный университет геодезии
и картографии*

Работа посвящена изучению процесса формирования склоновых полос на поверхности Марса. В исследовании использовались многократно пересекающиеся изображения поверхности Марса, полученные с помощью съемочных систем Thermal Emission Imaging System (THEMIS) и Context Camera (CTX). В области перекрытия изображений оператором фиксировались полосы, сформировавшиеся в период между моментами съемки двух изображений, что позволило определить временной интервал формирования склоновых полос. Поиск новых склоновых полос выполнялся в 20 регионах Марса (341 изображение CTX и THEMIS, накопленное за 9 марсианских лет (20 земных лет)) в диапазоне от 6° Ю.Ш. до 36° С.Ш. Нам удалось идентифицировать более 1000 новых склоновых полос размерами от 10 м до 2000 м в длину.

Использование климатической базы данных Марса позволило определить погодные условия в атмосфере и на поверхности Марса во время формирования склоновых полос. Несмотря на то что формирование склоновых полос происходит в течение всего марсианского года, нам удалось выявить, что наиболее активное формирование склоновых полос происходит когда температура поверхности и атмосферное давление близки к максимальным годовым значениям или в периоды их межсезонного изменения ($100^\circ < L_s < 200^\circ$). Наиболее быстро сформировавшуюся полосу мы смогли обнаружить на 2 изображениях CTX - полоса длиной 325 м сформировалась в период - 26/07/2008-06/08/2008 ($103.6^\circ < L_s < 108.6^\circ$, 10 солов).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 18-35-00210 «Изучение влияния климатических условий на процесс формирования склоновых полос на Марсе».

ОБСЛЕДОВАНИЕ ИЗБРАННЫХ МАРСИАНСКИХ КРАТЕРОВ МЕТОДАМИ ОРБИТАЛЬНОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ

А.Д. Букина, М.И. Шпекин

Казанский Федеральный Университет

Среди большого числа марсианских кратеров мы выбрали 4 кратера.

Кратер Виктория – ударный кратер на поверхности Марса в районе плато Меридиана. Допускают, что после очередной пылевой бури на Марсе этот кратер может полностью исчезнуть. Кратер Гусев представляет интерес для ученых-планетологов из-за вероятности существования на его месте озера. Кратеры-близнецы Арима расположенные внутри «Долины Маринер» - самого большого каньона Солнечной Системы. Главная их особенность – возможные следы взрыва. Выбранные кратеры существенно отличаются между собой по своей топографии, размерам и расположению на марсианской территории. Такой выбор, по мнению авторов, позволяет глубже понять возможности 3D-моделирования, заложенные в компьютерной программе Agisoft PhotoScan [1]. Авторы названной программы разработали ее для фотограмметрии аэрофотоснимков земной поверхности. В докладе представлена попытка оценить в какой степени алгоритмы машинного зрения, положенные в основу программы, подойдут для построения стереомоделей по орбитальным снимкам Марса. Для решения поставленной задачи были выбраны снимки миссии «Mars Express» представленные на сайте Planetary Image Locator Tool [2]. Работа проводилась по снимкам, полученным стереокамерой высокого разрешения HRSC. Размер одного оцифрованного снимка составлял около 70 Мб. В докладе рассмотрены проблемы вычислительного характера, состоящие в том, что построение текстурной модели по снимкам высокого разрешения, как показал наш опыт, требуют значительных затрат машинного времени. Первые модели были построены с использованием фотограмметрических станций лаборатории «Фотограмметрии и дистанционного зондирования» института физики КФУ. На следующем этапе для построения 3D-моделей предполагается использовать мощности вычислительного кластера.

Литература

1. Ch.R. Mukhametshin, A.A. Semenov, M.I. Shpekin Experience of modeling relief of impact lunar crater Aitken based on high resolution orbital images.// Journal of Physics: Conf. Series 2018, 1015, 032131, 8 pages. – URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1015/3/032131>
2. Planetary Image Locator Tool. – URL: <https://pilot.wr.usgs.gov/#polygon>

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ МАРСА И КАРТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ ВО ВРЕМЯ ПЫЛЕВОЙ БУРИ 2018-ГО ГОДА ПО ДАННЫМ ФУРЬЕ- СПЕКТРОМЕТРА ACS TIRVIM МИССИИ EXOMARS-2016

П.В. Власов, Н.И. Игнатьев

Институт космических исследований РАН

В марте 2016-го года стартовала миссия Экзомарс-2016 с целью всестороннего изучения Марса. На борту КА TGO (Trace Gas Orbiter) в числе прочих установлен российский приборный комплекс ACS (Atmospheric Chemistry Suite) с 3 спектрометрами ИК-диапазона NIR, MIR и TIRVIM, активная фаза работы которых началась 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 ACS TIRVIM данным в надирном режиме проводится самосогласованное восстановление вертикальных температурных профилей, температуры поверхности Марса и общего содержания пыли и водяного льда в атмосфере.

Восстановление профилей температуры производится путём решения обратной задачи переноса излучения и реализуется методом релаксации или методом статистической регуляризации. Метод статистической регуляризации более универсален в применении и основан на расчёте как синтетического спектра излучения, так и его функциональных производных по произвольным параметрам. Задача заключается в минимизации разницы между моделируемым и измеренным спектрами при варьирующихся значениях температуры атмосферы, температуры поверхности и общего содержания компонент аэрозолей.

В ходе исследований с помощью реализованного специально под эту задачу метода статистической регуляризации была произведена обработка ряда сеансов измерений ACS TIRVIM в надирном режиме наблюдения во время пылевой бури на Марсе в 2018-м году. В результате обработки были восстановлены вертикальные профили температуры атмосферы до высоты ~ 80 км, значения температуры поверхности планеты и общее содержание аэрозолей в виде оптических толщин соответствующих компонент на заданном волновом числе (825 см⁻¹ для водяного льда и 1075 см⁻¹ для пыли). По результатам восстановления были построены температурные поля вдоль треков орбит КА TGO, а также карты распределения аэрозолей. В настоящее время обработка данных продолжается, что позволит в будущем изучить суточную динамику температуры на планете и помочь в усовершенствовании существующих атмосферных моделей Марса.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ КАМЕНИСТОСТИ В ЛУННОМ КРАТЕРЕ ПЛАСКЕТТ

Е.А. Гришакина

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

На базе новых высокоточных данных оценивается каменистость в лунном кратере Пласкетт, анализируется корреляция каменистости и уклонов поверхности: 1) на внутреннем склоне, 2) на центральной горке и 3) в днище. Для построения мозаики изображений использовались снимки узкоугольной камеры LROC NAC. Разрешение снимков, по которым путем визуального осмотра дешифрировались камни, - 1 метр для 1-го участка, 2.5 метра для 2-го и 3-го участков. При создании карты уклонов взята цифровая модель рельефа по данным лазерного альтиметра LOLA на орбитальном аппарате LRO. В пределах первого тестового участка на внутреннем склоне в западной части кратера, площадь которого около 9 км², было обнаружено одномодальное распределение из более 2300 камней, средний диаметр камня - 2.54 м, среднеквадратическое отклонение - 1.04 м. В пределах второго участка на центральной горке кратера с той же площадью было обнаружено одномодальное распределение из более 1300 камней, средний диаметр камня - 5.42 м, среднеквадратическое отклонение - 2.51 м. В пределах третьего участка в днище кратера с аналогичной площадью было обнаружено одномодальное распределение из более 400 камней, средний диаметр камня - 4.22 м, среднеквадратическое отклонение - 1.26 м. На первом и втором участках отмечено наличие следов качения камней, оба исследуемых участка являются наклонными поверхностями. Разное разрешение исходных дешифрируемых снимков не позволяет корректно сравнивать результаты по обнаружению камней менее 3.5 м. Нормальное распределение камней на изучаемых участках является показателем преобладания одного процесса случайного характера, формирующего текущее состояние каменистости, ударной переработки поверхностного материала. Разный характер кривых частотно-размерного распределения камней, показанный на графиках, демонстрирует отчетливое влияние склоновых процессов на каменистость в разной степени на круто- и пологонаклонных поверхностях, на внутреннем склоне и на центральной горке кратера.

КАРТИРОВАНИЕ И МЕЖГОДОВЫЕ ВАРИАЦИИ НОЧНОГО СВЕЧЕНИЯ O_2 В АТМОСФЕРЕ МАРСА ПО ДАННЫМ ПРИБОРА SPICAM/МЕХ ЗА ПЯТЬ МАРСИАНСКИХ ЛЕТ

М.С. Жарикова^{1,2}, А.А. Федорова¹, F. Lefevre³,
F. Montmessin³, O.I. Korablev¹, J-L. Bertaux^{1,3}

¹ *Институт Космических Исследований РАН,*

² *Московский Физико-Технический Институт*

³ *LATMOS du CNRS/IPSL*

Ночное свечение кислорода является индикатором циркуляции средней атмосферы Марса в полярных областях. В отличие от дневного свечения $O_3(a1\Delta g)$, вызванного фотодиссоциацией озона, ночное свечение $O_2(a1\Delta g)$ является продуктом рекомбинации атомарного кислорода, которые образуется в процессе фотодиссоциации CO_2 на дневной стороне на высотах 70-80 км и переносится на ночную сторону циркуляцией Хэддли: $O + O + CO_2 - O_2^* + CO_2$.

Первые наблюдения 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 АОФ спектрометр SPICAM IR проводит наблюдения атмосферы Марса в ближнем ИК диапазоне (1–1.7 мкм) со спектральным разрешением 3.5 см^{-1} в режимах надир, лимб, солнечными и звездными затмениями [4]. Он позволяет измерять свечение O_2 с достаточно большой разрешающей силой (~ 2200). FOV спектрометра в режимах звездные затмения и лимбовые наблюдения составляет 1° , что позволяет получить пространственное разрешение по высоте от 20 до 200 км.

В данной работе будут представлены сезонные карты распределения кислорода за пять марсианских лет, их межгодовые вариации и сравнение с моделью общей циркуляции Марса (General circulation model -GCM) лаборатории LMD [5].

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
5. Lefevre F. et al. (2004), J. Geophys. Res. 109. E07004

СТАТИСТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКЗОПЛАНЕТ ПО МАССАМ С УЧЕТОМ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕЛЕКЦИИ. УЧЕТ ТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЛУЧЕВОЙ СКОРОСТИ

А.Е. Иванова^{1,2}, В.И. Ананьева¹, А.В.Тавров¹,
Г.Г. Валявин³, О.И. Кораблев¹, Р. Лаллемен⁴,
Э. Марк⁵, Ж.-Л. Берто⁵

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

³ *САО РАН, Карачаево-Черкесская Республика*

⁴ *Observatoire de Paris, Франция*

⁵ *LATMOS/IPSL/CNRS/UVSQ, Франция*

По подтвержденным экзопланетам (4126 на 13.02.2020) возможно исследование их статистических характеристик. В ходе работы над этой темой был проведен статистический анализ распределений транзитных и M-dwarfs RV- экзопланет. Были применены критерий Колмогорова-Смирнова, критерий Стерджеса и сглаживание при помощи KDE с использованием непрерывного ядра с SND. Был верифицирован степенной закон распределения экзопланет по массам, согласующийся с теоретическими результатами [1]. Результаты опубликованы [2 – 4].

Также начата непосредственная работа с данными наблюдений, а именно обработка спектров и использование метода лучевых скоростей (RV). Это особенно актуально, поскольку в настоящее время в эксплуатацию вводится спектрограф, расположенный на 6ти метровом телескопе САО РАН в Зеленчуке[5]. На данный момент это первый спектрограф в России, при помощи которого возможно измерение лучевых скоростей для изучения экзопланет. Поскольку данный телескоп находится на Земле, необходимо проводить коррекцию полученных спектров от теллурического поглощения. Теллурические линии могут быть промоделированы в системе TAPAS [6], применительно к астроклимату САО РАН. Для изучения возможностей TAPAS и подходов к коррекции спектров была начата совместная работа с коллегами из Франции (Observatoire de Paris). В ходе работы был модифицирован существующий алгоритм коррекции спектров [7], была изучена модель TAPAS, а также была проведена тестовая коррекция спектров, полученных в ESO. Результаты работы представлены в настоящем докладе.

Литература

1. Mordasini C. Planetary Population Synthesis. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018 H. J. Deeg, J. A. Belmonte (eds.), Handbook of Exoplanets, https://doi.org/10.1007/978-3-319-30648-3_143-1
2. А. Иванова, В. Ананьева, А. Венкстерн, И. Шашкова, А. Юдаев, А. Тавров, О.Кораблев, Ж.-Л.Берто. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАНЗИТНЫХ ЭКЗОПЛАНЕТ ПО МАССАМ С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕЛЕКЦИИ. ПИСЬМА В АСТРОНОМИЧЕСКИЙЖУРНАЛ, 2019, том 45,№10, с. 741–748
3. V.Ananyeva, A.Ivanova, A.Venkstern, I.Shashkova, A.Yudaev, A.Tavrov,

- O. Korablev, J.-L. Bertaux. Mass distribution of exoplanets considering some observation selection effects in the transit detection technique. ICARUS, получена положительная рецензия.
4. В.Ананьева, А.Иванова, А.Векстерн, А.Тавров, О.Кораблев, Ж.-Л. Берто. Распределение экзопланет по массам в зависимости от спектрального класса родительских звезд. *Астрономический Вестник*, получена положительная рецензия.
 5. Valyavin, G.G. et al., The High Resolution Fiber-Fed Echelle Spectrograph for the SAO RAS 6 m Telescope : First Spectra. *Physics of Magnetic Stars ; ASP Conference Series*, Vol.158, 2019
 6. Bertaux, J. L.; Lallement, R.; Ferron, S.; Boonne, C.; Bodichon, R.: TAPAS, a webbased service of atmospheric transmission computation for astronomy, *Astron. Astrophys.* Volume 564, 2014
 7. Cox, Nick L. J.; Cami, Jan; Farhang, Amin; Smoker, Jonathan; Monreal-Ibero, Ana; Lallement, Rosine; et al: The ESO Diffuse Interstellar Bands Large Exploration Survey (EDIBLES) . I. Project description, survey sample, and quality assessment , *Astronomy&Astrophysics*, Volume 606, 2017

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРА НОЧНОЙ СТОРОНЫ ВЕНЕРЫ В ОКНЕ ПРОЗРАЧНОСТИ 2.3 МКМ С УЧЕТОМ ПОГЛОЩЕНИЯ SO₂, H₂O, HDO И ДРУГИХ ГАЗОВ

М.А. Иванова^{1,2}, А.А. Федорова¹,
В.А. Краснопольский²

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

Соотношения изотопов H₂O и HDO является ключевым показателем, по которому можно судить об эволюции атмосферы. В атмосфере Венеры отношение HDO/H₂O в более чем 100 раз больше земного. Это указывает на присутствие на древней Венере довольно большого количества воды сравнимого с земными океанами, которая возможно была потеряна в результате взрывного парникового эффекта. Между тем измерения изотопного отношения на Венере единичны и дают большой разброс значений от 100 до 240 относительно земного стандарта.

Горячие нижние слои атмосферы Венеры испускают сильное тепловое излучение в узких окнах прозрачности, которое может быть зарегистрировано на ночной стороне планеты сквозь густые облака с помощью дистанционных измерений, что впервые было описано в 80-х годах XX века (Allen and Crawford, 1984). При этом окно прозрачности 2.3 мкм может быть использовано для восстановления содержания HDO и H₂O в нижней атмосфере Венеры на высотах порядка 30–40 км (Marcq and Be'zard, 2008). Моделирование ночных окон прозрачности является сложной задачей, чувствительной к разным моделям CO₂ поглощения в плотной горячей атмосфере, неизвестному вертикальному распределению малых газовых составляющих и принимаемой модели облаков. В данной работе мы приводим результаты моделирования окна 2.3 мкм и чувствительности восстановлений изотопного отношения к разным модельным параметрам. Полученные результаты планируется использовать в дальнейшем анализе наземных наблюдений окна 2.3 мкм.

Литература

1. Allen, D. A., and J. W. Crawford (1984), Cloud structure on the dark side of Venus, *Nature*, 307, 222 – 224
2. Marcq, E., B. Be'zard, P. Drossart, G. Piccioni, J. M. Reess, and F. Henry (2008), A latitudinal survey of CO, OCS, H₂O, and SO₂ in the lower atmosphere of Venus: Spectroscopic studies using VIRTIS-H, *J. Geophys. Res.*, 113, E00B07, doi:10.1029/2008JE003074.
3. Fedorova et al., 2014. The CO₂ continuum absorption in the 1.10 - and 1.18- μ m windows on Venus from Maxwell Montes transits by SPICAV IR onboard Venus Express. *Planetary and Space Science*, 113–114. 66–77.
4. Pollack J.B., et al., 1993. Near-infrared light from Venus' nightside: a spectroscopic analysis. *Icarus*, 103. 1–42.

НИЖНЕГИБРИДНЫЕ ВОЛНЫ В ЭКЗОСФЕРЕ ЛУНЫ

Кассем Аттия Ибрахем Кассем¹, С.И. Попель^{1,2},
Ю.Н. Извекова^{1,2}, Л.М. Зеленый^{1,2}

¹ *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

Представлено описание волновых процессов при взаимодействии хвоста магнитосферы Земли с запыленной экзосферой Луны. Показано, что существенными при этом являются нижнегибридные волны, которые возбуждаются в результате развития линейной гидродинамической неустойчивости. Развитие неустойчивости обусловлено относительным движением ионов магнитосферы и заряженных пылевых частиц. Исследованы процессы развития нижнегибридной турбулентности, которая рассматривается с позиций сильной турбулентности. Определены значения плотности энергии нижнегибридных волн, эффективной частоты столкновений, а также возникающие в системе электрические поля. Оказывается, что при развитии нижнегибридной турбулентности в плазменно-пылевой системе у Луны могут возбуждаться электрические поля, несколько меньшие электрических полей у поверхности Луны, возникающих в процессе зарядки ее поверхности при взаимодействии Луны с солнечным излучением, но тем не менее вполне значимые для установления адекватной картины электрических полей над Луной. Полученную эффективную частоту столкновений следует учитывать при записи гидродинамических уравнений для пылевой плазмы с учетом ее турбулентного нагрева.

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

К.Р. Гизатуллин^{1,2}, А.Ю. Трохимовский¹,
А.А. Федорова¹, J.-L. Bertaux^{1,3}, Monique Spite⁴,
А.А. Ломакин^{1,2}, А.С. Патракеев¹, Ф. Монтмессан³
О.И. Кораблев¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Государственный университет Московский физико-технический институт*

³ *LATMOS/IPSL, UVSQ Universite Paris-Saclay, UPMC Univ. Paris 06*

⁴ *CNRS, Guyancourt, France*

⁵ *Astronomy Department, New Mexico State University, New Mexico, USA*

⁶ *GEPI Observatoire de Paris, CNRS, Guyancourt, France*

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. Между тем, до сих пор существует ограниченное количество спектров Солнца в этом диапазоне, полученных путем прямых наблюдений. Одним из лучших на сегодняшний момент является солнечный спектр CAVIAR (Continuum Absorption at Visible and Infrared Wavelengths and its Atmospheric Relevance) [1, 2]. 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, 4]. Аппарат TGO вышел на орбиту Марса в октябре 2016 года. ACS - это комплекс из трех инфракрасных спектрометров в диапазоне от 0.7мкм до 17мкм с высокой разрешающей способностью (более 10 000).

ACS NIR - инфракрасный спектрометр, продолжение семейства SPICAM-IR [5], с разрешающей способностью ~25000 работающий в диапазоне 0.76-1.65 мкм, чему соответствует 48-105 дифракционные порядки. Принцип работы основан на комбинации дифракционной эшелле решетки и акустооптического перестраиваемого фильтра (АОПФ) [6]. 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, полученных в Июне 2016 года во время Mid Cruise Checkout TGO Payload (MCC).

В случае прямых измерений спектра следует принимать во внимание все особенности оптической схемы. Текущая модель прибора ACS NIR включает в себя форму функции AOTF, функцию блеска, перекрытие соседних дифракционных порядков, коррекцию рассеянного света и коррекцию плоского поля детектора. 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. В докладе будет показано сравнение полученных эквивалентных ширин солнечных линий полученных из измерений ACS NIR с эквивалентными ширинами полученных из CAVIAR 2013, TOON[7].

ЭкзоМарс - это совместный проект ESA и Роскосмоса. Эксперимент ACS проводится Институтом космических исследований ИКИ в Москве. Проект финансируется Роскосмосом и CNES. Исследования финансируются Роскосмосом и ESA. К.Г., А.Т., А.Ф., О.К., А.Л., J-L.V. признают поддержку Министерства образования и науки Российской Федерации, грант 14.W03.31.0017.

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^{-1} . *Geophysical Research Letters*, 44, 10,071–10,080.
3. <https://doi.org/10.1002/2017GL073902>
4. Korablev, O., et al. «The atmospheric chemistry suite (ACS) of three spectrometers for the ExoMars 2016 Trace Gas Orbiter.» *Space science reviews* 214.1 (2018): 7.
5. 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.
6. Korablev, Oleg, et al. «SPICAM IR acousto-optic spectrometer experiment on Mars Express.» *Journal of Geophysical Research: Planets* 111.E9 (2006).
7. 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. 331.
8. Toon, G. C., Solar line list for GGG2014, TCCON data archive, hosted by the Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A., doi:10. 14291/tcon.ggg2014.solar.R0/1221658, 2014.

МОРФОМЕТРИЯ МАЛЫХ ЛУННЫХ КРАТЕРОВ

Н.А. Козлова^{1,2}, А.Т. Базилевский¹, М.А. Иванов¹

¹ *Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН*

² *Комплексная лаборатория исследования внеземных территорий, Московский государственный университет геодезии и картографии*

Ударные кратеры являются наиболее распространенной формой рельефа большинства твердых небесных тел. В то же время, их детальное изучение их морфометрии стало возможным только с появлением данных о высотах поверхности - цифровых моделей рельефа (ЦМР). Современные данные дистанционного зондирования Луны позволяют получать ЦМР с размером пикселя несколько метров, давая возможность исследовать кратеры диаметром десятки и сотни метров.

Одним из основных морфометрических параметров кратера является относительная глубина (отношение глубины кратера к его диаметру). По ней можно судить не только о возрасте и степени деградации самого кратера, но и, например, о свойствах подстилающей поверхности и параметрах ударника. Так, одной из задач данного исследования является попытка на основе морфометрических данных, отделить первичные кратеры от вторичных, что, в свою очередь, важно учитывать при датировке поверхности небесного тела методами кратерной статистики (Michael and Neukum, 2010).

На конференции будут представлены результаты сравнения вычисленных морфометрических параметров для малых лунных кратеров, расположенных в различных районах – местах посадки советских космических миссий Луноход, где предполагается популяция чисто первичных кратеров, и нескольких местах посадки программы Аполлон, где возможно присутствие вторичных кратеров (Basilevsky et al., 2018).

Литература

1. А.Т., Kozlova N.A., Zavyalov I.Yu., Karachevtseva I.P., Kreslavsky M.A. Morphometric studies of the Copernicus and Tycho secondary craters on the Moon: Dependence of crater degradation rate on crater size // Planetary and Space Science, 2018, V.162, P. 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2017.06.001>.
2. Michael G.G., Neukum G., Planetary surface dating from crater size-frequency distribution measurements: Partial resurfacing events and statistical age uncertainty, Earth and Planetary Science Letters, 294 (3-4), 223-229, 2010.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ СКЛОНОВЫХ ПОЛОС НА ПОВЕРХНОСТИ МАРСА, ВЫЯВЛЕННЫЕ В ПРОЦЕССЕ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

Н.А. Козлова, К.Э. Кабальеро Энрике, Е.С. Брусникин
*Московский государственный университет геодезии
и картографии*

Склоновые полосы наблюдаются в низких широтах. Склоны, на которых формируются эти объекты, имеют отличительные свойства поверхности: высокое альbedo и низкую тепловую инерцию. Полосы могут достигать в длину нескольких километров, а в ширину - десятки метров. Полосы формируются из источника малых размеров и распространяются по направлению склона. Рельеф может влиять на процесс формирования полос, они могут обходить препятствия (камни, борозды, кратеры), разветвляясь на несколько потоков. Активные геоморфологические процессы на Марсе описывают потемнения на его поверхности (участки с низким альbedo) либо вымыванием сезонными рассолами, либо выдуванием темных базальтовых пород из под поверхностного слоя, однако в течение нескольких сезонов такие объекты исчезают с поверхности, а склоновые полосы наблюдаются в течении нескольких десятилетий. Для объяснения уникального марсианского феномена склоновых полос учеными предложено два основных противоположных механизма их формирования: «сухой» (Sullivan et al., 2001) и «влажный» (Kreslavsky and Head, 2009). «Сухой» механизм рассматривает полосы как последствия схода пылевых лавин, а «влажный» объясняет формирование полос лавинообразным движением солевых водных растворов в подповерхностном слое. Мы провели серию измерений морфометрических параметров склоновых полос и определили временные интервалы их формирования с целью определения климатических параметров на поверхности Марса. Ни один из существующих механизмов формирования склоновых полос не может объяснить все их особенности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 18-35-00210 «Изучение влияния климатических условий на процесс формирования склоновых полос на Марсе».

Литература

1. Sullivan R., Thomas P., Veverka J., Malin M., Edgett K.S. 2001. Mass movement Slope Streaks imaged by the Mars Orbiter Camera. J. Geophys. Res. V.106, p. 23607
2. Kreslavsky M. and Head J. 2009. Slope streaks on Mars: A new “wet” mechanism. Icarus. V201, p. 517

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЯ ДЛЯ ДВУХ ГЛОБАЛЬНЫХ ПЫЛЕВЫХ БУРЬ (2007 И 2018 ГОДА) НА МАРСЕ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА СПИКАМ ИК НА МАРС ЭКСПРЕСС

С.Я. Корса¹, А.А. Федорова¹, О.И. Кораблев¹,
Ф. Монтмессин²

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *LATMOS/CNRS, Guyancourt, France*

Одной из характерных особенностей климата Марса является наличие пылевых бурь, возникающих во вторую половину марсианского года в период прохождения Марсом перигелия. В некоторых случаях пылевая буря может охватывать всю планету, переходя в глобальную (Global Dust Storm — GDS) [1]. Подобные события случаются крайне редко, раз в несколько марсианских лет. Последний раз это произошло летом 2018 года в марсианский год (MY) 34 L_s=190-240.

Эксперимент СПИКАМ на борту КА «Марс-Экспресс» работает на орбите Марса с 2003 года и состоит из двух спектральных каналов (ультрафиолетового и инфракрасного). Инфракрасный акусто-оптический спектрометр СПИКАМ ИК работает в диапазоне 1 – 1.7 мкм. со спектральным разрешением от 0.5 до 1.2 нм. [2], проводя надирные и лимбовые наблюдения и наблюдения в режиме солнечных затмений. Обширные данные, полученные этим экспериментом, охватывают диапазон, включающий предыдущую глобальную пылевую бурю, произошедшую в 2007 году MY28 [3]. В данной работе будут представлены наблюдения вертикального распределения аэрозоля для двух глобальных пылевых бурь (2007 и 2018 года), проведен сравнительный анализ размеров частиц и плотностей на основе данных солнечных затмений эксперимента СПИКАМ ИК.

Литература

1. Huiqun Wang, Mark I. Richardson, The origin, evolution, and trajectory of large dust storms on Mars during Mars years 24–30 (1999–2011), *Icarus* (251), 2015, <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2013.10.033>.
2. Korablev, O., et al. SPICAM IR acousto-optic spectrometer experiment on Mars Express, *J. Geophys. Res.*, 111, E09S03 <https://doi.org/10.1029/2006JE002696>, 2006.
3. Fedorova A., et al. Water vapor in the middle atmosphere of Mars during the 2007 global dust storm, *Icarus* (300), 2018, <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2017.09.025>.

ОГРАНИЧЕНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ И КОНЦЕНТРАЦИИ УРАНА В ЛУННОЙ КОРЕ

Е.В. Кронрод, О.Л. Кусков, В.А. Кронрод
*Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского РАН*

Для одномерной теплофизической модели определены распределения температуры, мощности тепловых источников (концентрации урана) в коре и мантии Луны, удовлетворяющие геофизическим и геохимическим ограничениям в предположении модели магматического океана. Полученные профили температуры согласованы с данными о сейсмических скоростях в Луне. Для мощности коры 34 км и средней пористости ~12% валовые концентрации урана в Луне определены в пределах 19-23 ppb, что близко к оценкам для мантии Земли (около 19 ppb), величины поверхностных тепловых потоков составляют 6 – 9 мВт/м².

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЫЛЕВОЙ ДИНАМИКИ БЕЗАТМОСФЕРНЫХ ТЕЛ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

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

Институт космических исследований РАН

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

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

Данная работа посвящена построению экспериментальной установки по моделированию лунной приповерхностной экзосферы, а также результатам, касающимся поднятию пылевых частиц в безатмосферной среде, и способам их регистрации.

СРАВНЕНИЕ РАЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ СНЕГА ДЛЯ МАРСИАНСКИХ УСЛОВИЙ

А.А. Ломакин^{1,2}, А.А. Федорова¹, Д. Бердис³,
О.И. Кораблев¹, Ф. Монтмессан⁴

¹ *Институт космических исследований РАН, Москва*

² *Московский физико-технический институт, Москва*

³ *Astronomy Department, New Mexico State University,
New Mexico, USA*

⁴ *LATMOS CNRS, Guyancourt, France*

Полярные шапки Марса играют большую роль в энергетическом балансе планеты [1], их сублимация и конденсация являются определяющим фактором CO_2 и H_2O циклов. Четкое понимание структуры льда на поверхности крайне важно для моделирования климатических процессов [2]. Однако, на данный момент опубликовано немного информации о пространственных и временных вариациях параметров марсианских льдов на постоянных и сезонных полярных шапках. Одним из лучших способов определить такие зависимости, например, зависимость толщины сезонного слоя и размера зерен CO_2 льда [3] от сезона на Марсе и широты является ИК-спектроскопия.

Для получения таких зависимостей необходимо корректное моделирование отражательной способности снега в Марсианских условиях. В литературе известно большое количество моделей поверхности разной сложности и исходящих из разных приближений [5, 6, 7, 8, etc.], однако не все из них можно применять для снега или льда [9]. Мы провели сравнение нескольких моделей между собой, с лабораторными измерениями и с наблюдениями SPICAM-IR/MEX [10], и обсудим применимость каждой к моделированию снежных и ледяных поверхностей.

Литература

1. Wood S.E., David A.Paige, Icarus (1992), Volume 99, Issue 1, p. 15-27; doi: 10.1016/0019-1035(92)90167-6.
2. Hourdin et al., Workshop on Atmospheric Transport on Mars p 16-17
3. Appere, T., B. Schmitt, Y. Langevin, S. Doute, A. Pommerol, F. Forget, A. Spiga, B. Gondet, and J.-P. Bibring (2011), Winter and spring evolution of northern seasonal deposits on Mars from OMEGA on Mars Express, J. Geophys. Res., 116, E05001, doi:10.1029/2010JE003762.
4. Napke, B. (1981), Bidirectional reflectance spectroscopy: 1. Theory, J. Geophys. Res., 86 (B4), 3039–3054, doi:10.1029/JB086iB04p03039.
5. Grundy, W.M., 1995, Methane and Nitrogen Ices on Pluto and Triton: a Combined Laboratory and Telescope Investigation, Ph.D. Thesis.
6. Flanner, M. G., and C. S. Zender (2005), Snowpack radiative heating: Influence on Tibetan Plateau climate, Geophys. Res. Lett., 32, L06501, doi:10.1029/2004GL022076.
7. Doute S., Schmitt B. (1998). A multi-layer bidirectional reflectance model for the analysis of planetary surface hyperspectral images at visible and near infrared wavelengths. J. Geophys. Res. E, 103, 31367 - 31390.
8. Y. Shkuratov, et al., A model of spectral Albedo of particulate surfaces: implications for optical properties of the Moon, Icarus, 137 (1999), pp. 235-246

АНАЛИЗ ТОПОГРАФИИ И ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ВЕНЕРЫ

Т.И. Менщикова

*Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

Ключевые слова: гравитационное поле, топография, гравитационные аномалии, параметры равновесной фигуры, Венера

Целью работы является получение дополнительной информации о недрах планеты в отсутствии сейсмических данных. Рельеф поверхности планеты отражает геологические процессы, происходившие в планете. Гравитационные аномалии отражают распределение масс на поверхности и в ее недрах. Совместный анализ гравитационного поля и топографии служит одним из методов наложения дополнительных ограничений на внутреннюю структуру планеты.

Данное исследование является актуальным в связи с планируемыми миссиями по исследованию Венеры: проект Роскосмоса и НАСА «Венера-Д», проект EnVision ЕКА.

В работе использованы данные о топографии и гравитационном поле Венеры полученные с космического аппарата «Магеллан». Топография (модель SHTJV360u) представлена в виде коэффициентов разложения по полиномам Лежандра высот рельефа относительно центра масс до 360 степени и порядка группой (Rappaport et al., 1999). Гравитационное поле (модель SHGJ180u) представлено в виде коэффициентов разложения по полиномам Лежандра до 180 степени и порядка группой (Konopliv et al., 1999).

При рассмотрении структуры гравитационного поля встает вопрос о поверхности отсчета, от которой отсчитываются высоты рельефа и ареоида, а также строятся аномалии гравитационного ускорения. Для модельного распределения плотности, по уравнениям теории фигуры второго приближения (Жарков, Трубицын, 1980) рассчитаны параметры равновесной фигуры для нескольких выбранных пробных моделей внутреннего строения.

Используя разложение по сферическим функциям топографии и гравитационного поля, в работе рассчитаны: их порядковые дисперсии, величины среднего квадратичного значения дисперсии для одной элементарной гармонике порядка n , и получены степенные законы, наилучшим образом описывающие поведение обеих дисперсий, получены коэффициенты порядковой корреляции топографии и гравитационного поля Венеры и адмитанс: отношения высот ареоида и гравитационных аномалий Δg к топографии. Проведен анализ высот геоида и отклонений силы тяжести от гидростатически равновесных значений для различных районов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПЛОТНОСТИ CO₂ В ТЕРМОСФЕРЕ МАРСА ПО ДАННЫМ СОЛНЕЧНОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ ACS-MIR МИССИИ EXOMARS/TGO

А.Р. Нечаев, Д.А. Беляев, О.И. Кораблев,
А.А. Федорова

Институт космических исследований РАН

ACS-MIR (mid-infrared) — российский спектрометр среднего инфракрасного диапазона, работающий на орбите около Марса с апреля 2018 года в составе инструмента ACS (Atmospheric Chemistry Suite) орбитального модуля TGO (Trace Gas Orbiter) проекта ExoMars 2016. ACS-MIR представляет собой эшелле-спектрометр, предназначенный для измерения солнечного просвечивания атмосферы в диапазоне длин волн от 2.3 мкм до 4.3 мкм с разрешением по высоте около 1 км [1]. Разрешающая способность прибора $\lambda/\Delta\lambda$ достигает 30 000. Каждый сеанс затменных наблюдений покрывает спектральный интервал с одной или несколькими полосами поглощения углекислого газа, с помощью которых можно восстановить вертикальный профиль плотности CO₂ и температуры атмосферы.

В данной работе представлены результаты, полученные из данных в диапазоне длин волн от 2.65 мкм до 2.7 мкм, в котором обнаруживаются сильные полосы поглощения CO₂ вплоть до высоты 180 км. Это позволяет построить вертикальные профили CO₂ для высот от 20 до 180 км, включающих в себя тропосферу, мезосферу и термосферу Марса. Для вычисления температуры и плотности CO₂ из полос поглощения используется итерационная схема. Посчитанные профили хорошо соотносятся с данными, полученными ниже 100 км с другого спектрометра — ACS-NIR (near-infrared) [2].

Литература

1. Korablev O.I. et al., 2018 The Atmospheric Chemistry Suite (ACS) of three spectrometers for the ExoMars 2016 Trace Gas Orbiter. Space Sci. Rev., 214:7.
2. Fedorova et al., 2020 Stormy water on Mars: The distribution and saturation of atmospheric water during the dusty season. Science, eaay9522. DOI: 10.1126/science.aay9522.

РАСЧЕТ УФ СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ МЕЗОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ ДЛЯ ЗАТМЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

К.В. Плакитина¹, Д.А. Беляев²

¹ *Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

Мезосфера Венеры простирается по высоте от надоблачной дымки (~ 70 км) до высот около 100 км. В составе мезосферы, кроме обильного углекислого газа, содержится множество малых газовых составляющих (SO_2 , H_2O , HCl и т.д.), играющих важную роль в фотохимических процессах над облаками планеты, состоящими из капель водного раствора серной кислоты. Изучение высотного распределения этих частиц, которые поднимаются над облаками в мезосферу, является одной из фундаментальных задач в понимании химических процессов на Венере. Данное распределение можно исследовать с помощью затменных экспериментов – солнечного и звездного просвечивания, - анализируя спектры пропускания атмосферы в УФ и ИК диапазонах.

В данной работе представлены расчеты УФ спектров пропускания мезосферы Венеры в диапазоне от 180 до 300 нм, содержащем полосы поглощения молекул CO_2 , SO_2 , O_3 и ClO и поглощение аэрозольных серно-кислотных частиц. Спектры анализируются с учетом прошедшего затменного эксперимента УФ спектрометром SPICAV (аппарат «Венера-Экспресс», 2006-2014 гг.) [1], и планируемого звездного просвечивания аналогичным спектрометром PHEBUS (миссия «Бепи-Коломбо» к Меркурию с пролетами около Венеры в 2020 и 2021 годах) [2]. В работе оценивается чувствительность измерений на различных высотах атмосферы с учетом спектрального разрешения спектрометров 1 – 1.5 нм.

Литература

1. J.-L. Bertaux et al., 2007. SPICAV on Venus Express: three spectrometers to study the global structure and composition of Venus atmosphere. *Planet. Space Sci.* 55, 1673–1700.
2. E. Chassefiere et al., 2010. PHEBUS: A double ultraviolet spectrometer to observe Mercury's exosphere. *Planet. Space Sci.* 58, 201–223.

КООРДИНАТНАЯ ПРИВЯЗКА ТЕКСТУРНОЙ 3D-МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ ЛУННОГО РЕЛЬЕФА ПО ОРБИТАЛЬНЫМ СНИМКАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

А.А. Семенов, Р.Р. Салимов, М.И. Шпекин
Казанский Федеральный Университет

В докладе представлены результаты построения 3D-моделей избранных элементов лунного рельефа. Для создания трехмерных моделей были выбраны участки лунной поверхности на территории молодых ударных кратеров Эйткен ($D=130$ км) и Циолковский ($D=185$ км). Названные кратеры расположены на обратной стороне Луны и входят в число регионов, перспективных с точки зрения предстоящих экспедиций. Для построения моделей использованы орбитальные снимки кратеров, доставленные на Землю космическими кораблями «Зонд» и «Аполлон» в 1970-72 годах и оцифрованные на фотограмметрическом сканере. В число избранных элементов рельефа вошли центральные горки обоих кратеров, а в кратере Циолковский – небольшой вулкан на днище кратера и наклонное плато в его северной части. Для координатной привязки текстурных моделей была апробирована локальная топоцентрическая система координат, в которой задавались координаты опорных точек, уверенно опознающихся на снимках. Рассмотрены вопросы числа опорных точек и их расположения на снимках с точки зрения надежности координатной привязки текстурных моделей. Приведены сведения о затратах машинного времени в зависимости от числа снимков и их разрешающей способности.

ПРОЕКТЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕНЕРЫ И МАРСА

Я.А. Сенченко^{1,2}, Б.Л. Сатовский^{1,2}

¹ *Московский физико-технический институт*

² *Фонд перспективных исследований*

Целью данной работы было обзорное литературное исследование проектов беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для исследования Венеры и Марса. В ходе работы во вступительной части были рассмотрены причины интереса к исследованиям ближайших планет Солнечной системы, а также актуальность использования для них БЛА, их преимущество и эффективность. Были рассмотрены общие особенности конструкций БЛА, необходимые для того, чтобы функционировать и выполнять конкретные задачи в условиях Венеры и Марса. В основной части работы был проведен обзор существующих и представленных ранее проектов БЛА для исследования Венеры и основных проектов БЛА для исследования Марса с приложением технических характеристик и изображений. По результатам обзорного исследования составлена сравнительная таблица различных типов БЛА, отражающая их цели и возможности в зависимости от особенности конструкции, а также подведены некоторые итоги касательно эффективности и перспектив использования БЛА в исследованиях различных планет.

Литература

1. M. Hassanalian, D. Rise, S. Johnstone, A. Abdelkefi. Planetary exploration by space drones: design and challenges, Ed. 2018.
2. M. Hassanalian, D. Rise, S. Johnstone, A. Abdelkefi. Planetary exploration by space drones, p. 62, Ed. 2018.

ХАРАКТЕРИСТИКА ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН НА МАРСЕ В ДИАПАЗОНЕ 10-180 КМ ПО ДАННЫМ СОЛНЕЧНОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ АППАРАТА ACS/TGO

Е.Д. Стариченко^{1,2}, Д.А. Беляев^{1,2}, А.С. Медведев³,
А.А. Фёдорова¹, О.И. Кораблев¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

³ *Max Planck Institute for Solar System Research, Gottingen,
Germany*

Гравитационные волны (ГВ) представляют собой периодические колебания воздушных масс, которые можно отследить по флуктуациям плотности, температуры, давления и других величин. Изучая высотные распределения плотности и температуры, мы характеризуем вертикальное распространение ГВ и оцениваем их влияние на связь между атмосферными слоями.

В данной работе мы представляем первые результаты восстановления ГВ в атмосфере Марса по данным эксперимента по солнечному просвечиванию, выполняемому российским комплексом спектрометров АЦС (ACS – Atmospheric Chemistry Suite) с борта орбитального аппарата TGO (Trace Gas Orbiter) [1] миссии Экзо-Марс. ACS представляет собой комплекс инфракрасных спектрометров, измеряющих спектроскопию атмосферы Марса с апреля 2018 года. Канал среднего ИК диапазона (ACS-MIR) представляет собой спектрометр со скрещенной дисперсией, работающий в области спектра 2.3-4.3 мкм с разрешающей способностью достигающей ~30 000. В режиме солнечного просвечивания спектрометр может наблюдать тонкие слои марсианской термосферы и нижней атмосферы в сильных (напр. 2.7 и 4.3 мкм) слабых (около 3 мкм) полосах поглощения CO₂ с вертикальным разрешением ~1км. Спектрометр ближнего ИК диапазона (ACS-NIR) – эшелле-спектрометр работающий в спектральном диапазоне 0.73 – 1.6 мкм с разрешающей способностью ~25000 [2]. Благодаря высокому разрешению, эти инструменты (работающие одновременно) позволяют восстанавливать колебания температуры, давления и плотности в широком диапазоне высот от 10 до 180 км. Набор представленных данных включает в себя более 100 высотных профилей, полученных в сезонах со второй половины 34 года по начало 35 года в обоих марсианских полушариях. Анализ данных в ИКИ поддерживается грантом РНФ #20-42-09035.

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.
2. Fedorova A. et al., 2020. Stormy water on Mars: The distribution and saturation of atmospheric water during the dusty season. Science, eaay9522. DOI: 10.1126/science.aay9522.

СОЗДАНИЕ ГИПСОМЕТРИЧЕСКОЙ WEB-КАРТЫ МАРСА

О.С. Третьюхина

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

В связи с развитием геоинформационных технологий в сети интернет среди всех научно-технических достижений в области современной картографии веб-картографирование занимает одно из лидирующих позиций. Данная работа заключается в создании гипсометрической веб-карты Марса по современным данным, полученным с космических аппаратов.

В работе были использованы пять цифровых моделей рельефа MOLO различного разрешения, в зависимости от которого они были использованы при составлении карт различного масштаба. Наиболее подробные цифровые модели были использованы при составлении карт наиболее крупного масштаба.

Разработка шкалы высот с разными высотными ступенями для разных масштабов состояла из трех этапов – выделение высотных ступеней в зависимости от распределения высот, усреднение высот ЦМР для генерализации на более мелких масштабах и проведение горизонталей.

Таблица объектов рельефа Марса, содержащая 1767 наименований, была загружена с ресурса Planetary Names.

Для каждого масштаба были отобраны основные объекты для отображения. Для каждого типа объекта был подобран свой шрифт подписей.

Каждый слой – полигоны, линии, точки и др. - оформляется отдельно. С помощью кода на языке Carto необходимо писать команды для дальнейшей визуализации каждого из слоев. Цветовое оформление шкалы высот и подписей горизонталей являются основными этапами оформления карты.

Самым нижним слоем была поставлена теневая отмывка рельефа, а цветовой окраске, которая была наложена слоем выше, была присвоена прозрачность для сохранения видимости теневой отмывки и создания лучшего образа местности.

Цвета послойной окраски должны предавать карте рельефность, повышать уровень наглядности, читаемости. Для создания ассоциативного образа, основой цветовой шкалы послужили цвета оранжевых, красных и коричневых оттенков, плавно сменяющих друг друга. Шкала выполнена с осветлением к верху.

Далее были нанесены места посадок космических аппаратов. В качестве условного знака были использованы флаги соответствующих стран.

После проведения всех этапов оформления карты, она была экспортирована в формат Mbtiles, предназначенный для хранения нарезанных на тайлы карт, и загружена на интернет-ресурс Марбох в предварительно созданный аккаунт с возможностью общего доступа.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО КАРТИРОВАНИЮ И ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ИЛЬМЕНИТА В ЛУННЫХ ПОРОДАХ НА ВИДИМОЙ СТОРОНЕ ЛУНЫ

О.И. Турчинская, Е.Н. Слюта

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

Концентрация имплантированных солнечным ветром газов в частицах и минералах лунного реголита зависит от химического и минерального состава частиц, от степени зрелости реголита и от размера частиц и может варьироваться в очень широких пределах - до трех порядков и более [1]. Самые низкие концентрации благородных газов наблюдаются в ударных и вулканических стеклах. Подобные низкие концентрации имплантированного гелия в кристаллических минералах лунного реголита наблюдаются только в плагиоклазе (битовните). Наибольшие концентрации имплантированного гелия наблюдаются в ильмените, который является основным рудным минералом в морских лунных базальтах. Селективное обогащение в зависимости от минерального состава приводит к неоднородному региональному распределению концентрации изотопов гелия и других имплантированных газов в лунном реголите. Области распределения повышенного содержания оксидов Ti (5-10%) по спектральным данным [2-4] фактически отражают содержание ильменита в реголите и распределение высокотитановых морских базальтов.

Целью данной работы является выявление и выделение нескольких основных категорий содержания ильменита от низкотитанистых до высокотитанистых лунных пород на основе картографирования распределения TiO_2 по спектральным данным космического аппарата "Клементина".

Результаты картографирования:

Высоко-титанистые морские базальты распространены в Море Спокойствия, в Море Паров, в Море Дождей, в Океане Бурь и в подчиненном значении в Море Влажности и в Море Облаков.

По данным спектральной съемки получены карты распределения содержания TiO_2 на поверхности Луны.

Распределение содержания TiO_2 варьируется от 0,01 до 10% (рис. 1). В зависимости от содержания TiO_2 (мас.%) на ближней стороне Луны выделяют шесть основных категорий: VI - 0,01-0,1, V - 0,1-0,5, IV - 0,5-1,0, III - 1,0-5,0, II - 5,0- 8,0 и I - 8,0-10,0 мас.% соответственно (рис. 1).

Литература

1. Слюта Е. Н., Яковлев О. И., Воропаев С. А., Дубровский А. В. Имплантация гелия и его концентрация в минералах и частицах лунного реголита // Геохимия. 2013. Т. 51. № 12. С. 1066–1075.
2. Blewett D.T., Lucey P.G., Hawke B.R., Jolliff B.L. Clementine images of the lunar sample-return stations: Refinement of FeO and TiO_2 mapping techniques // J. Geophys. Res. 1997. Vol. 102, E7, P. 16319-16326.
3. Lucey P. G., Blewett D.T., Hawke B.R. Mapping the FeO and TiO_2 content of the lunar surface with multispectral imagery // Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1998 vol. 103, NO. E2, P. 3679-3699.
4. Lucey P. G., Blewett D. T., Taylor G. J., Hawke B. R. Imaging of lunar surface maturity // J. Geophys. Res. 2000. Vol. 105, No. E8, P. 20377-20387.

АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА ДЛЯ АТМОСФЕРЫ МАРСА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО СОЛНЕЧНОМУ ПРОСВЕЧИВАНИЮ ACS-TIRVIM/EXO MARS-TGO

Е.С. Федорова^{1,2}, Д.А. Беляев¹, Н.И. Игнатьев¹,
А. Шакун¹, О.И. Кораблев¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

Атмосфера Марса содержит множество малых газовых составляющих, включая водяной пар (H_2O), распределение по планете которого имеет сезонный и географический характер. Изучение высотных профилей содержания H_2O в зависимости от температурного режима в атмосфере и влияния пылевой бури имеет фундаментальное значение. По такому вертикальному распределению можно судить о механизмах транспорта молекул H_2O в верхние слои атмосферы (мезосферу и термосферу), а также диссипации воды и водорода с планеты [1].

В данной работе приведены результаты обработки спектров пропускания H_2O , полученных в эксперименте ACS-TIRVIM/ExoMars-TGO в режиме солнечного просвечивания атмосферы Марса. Канал теплового инфракрасного диапазона TIRVIM (2-17 мкм) российского спектрометрического комплекса ACS (Atmospheric Chemistry Suite) работает на орбите около Марса на борту аппарата ExoMars-TGO (Trace Gas Orbiter) с апреля 2018 года [2]. Измерения в режиме солнечного просвечивания со спектральным разрешением $\sim 0.1 \text{ см}^{-1}$ позволяют определять вертикальное распределение молекулы на высотах от 10 до 100 км в сильной полосе поглощения водяного пара около 2.65 мкм. В работе представлены результаты расчета спектров пропускания H_2O для различных высот зондирования атмосферы, а также калибровки измеренных спектров по длине волны.

Литература

1. Fedorova et al., 2020. Stormy water on Mars: The distribution and saturation of atmospheric water during the dusty season. Science, eaay9522. DOI: 10.1126/science.aay9522.
2. Korablev O.I. et al., 2018. The Atmospheric Chemistry Suite (ACS) of three spectrometers for the ExoMars 2016 Trace Gas Orbiter. Space Sci. Rev., 214:7.

СОЗДАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАРСИАНСКОГО ГРУНТА

А.В. Шеховцова

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Геологический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

Исследования поверхности Марса актуальны в связи с проблемами при моделировании посадки космических аппаратов и строительства исследовательских баз, а также изучении эолового процесса на рельеф планеты. Основным приоритетом в выборе места посадки и строительства является безопасность территории, которую определяют физические и физико-механические свойства грунта.

Для этих целей необходимо изучение свойств грунтов Марса, а также создание комплексной инженерно-геологической модели марсианского грунта, с аналогичными физическими и физико-механическими свойствами. Создание таких моделей осложнено трудностью проведения прямых инженерно-геологических исследований на Марсе и отсутствием марсианского грунта на Земле для исследований в лаборатории. В связи с этим возникает необходимость подбора земных природных и искусственных материалов для создания грунта-аналога и проведения испытаний с ним.

Таким образом, целью настоящей работы является попытка создания инженерно-геологической модели грунта-аналога Марса на основе земных компонентов.

Для реализации поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. изучить инженерно-геологические особенности поверхности Марса по имеющимся данным;
2. изучить физические и физико-механические свойства песчаного материала Марса;
3. выбрать исходные грунты и материалы, имеющие схожий минералогический состав и размер частиц предположительно равный гранулометрическому составу реголита Марса;
4. создать грунт-аналог заданного гранулометрического состава;
5. экспериментально изучить физические и физико-механические свойства полученной модели;

Для подбора необходимого гранулометрического состава грунта-аналога из исходных материалов в настоящей работе использовался метод предельных кривых. В данном методе гранулометрический состав требуемой смеси подбирается на основе анализа соотношения интегральных кривых гранулометрического состава смешиваемых грунтов.

За неимением образцов грунта Марса в силу объективных причин, для сравнения были использованы в первую очередь данные прямых исследований на Марсе и грунты-аналоги американских коллег, а также данные спектрометров и других дистанционных методов исследования.

В результате исследования было получен грунта-аналог, имеющий гранулометрический состав характерный для района Марса – Долина Арес. При этом за основу были взяты андезиты Камчатки и железистый песок, по необходимости добавлялись кварцевый и другие пески. Грунты-аналоги, созданные в NASA, основывались на минеральном составе, в отличие от рассматриваемых в данной работе, поэтому данные об их физических и физико-механических свойствах имеют различия.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКЗОПЛАНЕТ. АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНЗИТНЫХ ЭКЗОПЛАНЕТ ПО МАССАМ БАЙЕСОВСКИМ МЕТОДОМ

О.Я. Яковлев¹, В.И. Ананьева², А.В. Тавров²

¹ *Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

² *Институт космических исследований РАН*

В настоящее время исследование экзопланет – новое бурно развивающееся направление в астрономии. На начало 2020 года подтверждено только чуть более четырех тысяч экзопланет, однако уже хорошо известно, что существование планет вокруг других звезд типично для нашей Галактики, а также о большом разнообразии их параметров в сравнении с планетами Солнечной системы. С целью исследования этого разнообразия важно иметь представление о распределении планет по массам. Однако полученные по наблюдениям распределения искажены факторами наблюдательной селекции, обусловленными особенностями методов детектирования экзопланет. Другой проблемой является то, что у большей части экзопланет, обнаруженных транзитным методом, масса неизвестна. Цель работы – исследовать закон распределения транзитных экзопланет по массе с учетом фактора вероятности транзита при использовании различных моделей зависимости массы от радиуса и сравнить с ранее полученными экспериментальными и теоретическими результатами. В качестве источника данных использовался Архив Экзопланет НАСА.

IV АСТРОФИЗИКА И РАДИО- АСТРОНОМИЯ

НАБЛЮДЕНИЕ ТРАНЗИТОВ ЭКЗОПЛАНЕТ В КГО И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАНЕТАРНЫХ СИСТЕМ

Е.В. Бекесов

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

Совместно с коллективом наблюдателей Кавказской горной обсерватории, были проведены фотометрические наблюдения ряда транзитов экзопланет по диску звёзд и получены кривые блеска для каждого из них.

При помощи написанной нами программы была проведена обработка кривых блеска, и на их основе получены данные о характеристиках планетарной системы (отношение радиусов звезды и планеты, большая полуось, наклон и эксцентриситет орбиты). Было проведено сравнение полученных результатов с результатами полученными другими исследователями, а также с результатами полученными при обработке тех же самых кривых блеска аналогичными программами.

В итоге выявлена возможность для уточнения характеристик данных планетарных систем, а также методов обработки кривых блеска экзопланетных транзитов в целом.

МНГОВОВЛНОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКА GRB181201A И ОТКРЫТИЕ СВЕРХНОВОЙ, АССОЦИИРОВАННОЙ С НИМ

С.О. Белкин^{1,2}, А.С. Позаненко^{1,2}, Е.Д. Мазаева²,
А.А. Вольнова², П.Ю. Минаев²

¹ *Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

На сегодняшний день известно 23 случая спектроскопического и около 30 фотометрических подтверждений ассоциации сверхновых (SN) с космическими гамма-всплесками (GRB). Оптические наблюдения источника GRB181201A проводились в течение месяца после обнаружения GRB181201A обсерваторией INTEGRAL. В результате обработки наблюдений была открыта сверхновая, ассоциированная с этим всплеском, были проведены наблюдения родительской галактики, а также получена многоцветная кривая блеска послесвечения гамма-всплеска. В результате моделирования кривой блеска были получены оценки параметров сверхновой SN/GRB181201A, абсолютная звездная величина в фильтре V ($-19.5 \text{ m} \pm 0.2$) и время от начала всплеска до максимума кривой блеска SN (19.7 ± 2.1 дней). В работе приведены результаты наблюдений гамма-рентгеновском, оптическом и радио диапазонах и моделирования кривых блеска послесвечения, родительской галактики и сверхновой.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИЕНТНОГО АККРЕЦИРУЮЩЕГО ПУЛЬСАРА V 0332+53

С.Д. Быков^{1,2}, Е.В. Филиппова¹, С.В. Мольков¹,
С.С. Цыганков^{3,1}, А.А. Лутовинов^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики*

³ *Университет Турку*

В рентгеновский пульсарах происходит аккреция вещества с массивной звезды на компактный объект - нейтронную звезду. Время от времени происходят особенно заметные эпизоды всплеска светимости таких объектов - вспышки. Из-за высокой яркости источника в таком состоянии, вспышки тщательно изучаются для ответов на некоторые вопросы о происходящих процессах. Одним из таких вопросов является проблема распределения вещества в массивных двойных системах.

Рентгеновский пульсар V 0332+53 был открыт спутником Vela 5B во время вспышки в 1973 году. В дальнейшем источник продемонстрировал вспышки в 1983, 1989, 2004-2005 и в 2015 годах. В результате анализа многочисленных данных об источнике, масса нейтронной звезды и её оптического Ве компаньона были оценены в 1.44 и 20 масс Солнца соответственно, а расстояние до системы V 0332+53 – в 7 кпк.

Собственный период пульсара ~ 4.37 с, тогда как орбитальный период системы ~ 34 дня. В энергетическом спектре детектируется циклотронная линия поглощения и ее две гармоники.

В данной работе мы провели анализ наблюдений обсерватории NuSTAR во время вспышки 2015 года и данных инструмента RXTE/PCA во вспышке 2004-2005 годах. Был проведен спектральный анализ и фазово-разрешенная спектроскопия в диапазоне энергий 4-79 кэВ (NuSTAR) и 3-12 кэВ (RXTE). Особое внимание мы уделили поведению эквивалентной ширины флуоресцентной линии железа, изучение которой, как считается, может дать полезную информацию о распределении материи в двойных системах типа V 0332+53.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-12-00423.

НЕРАЗРЕШЕННЫЕ ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ В РАССЕЯННЫХ ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЯХ

О.И. Бородина^{1,2}, Д.А. Ковалева²

¹ *Московский физико-технический институт*

² *Институт астрономии РАН*

Вопросы об универсальности законов образования популяции двойных звезд в различных областях звездообразования, а также о роли двойных звезд в процессах динамической эволюции звездных скоплений связаны с такими фундаментальными проблемами астрофизики, как состав и эволюция звездного населения Галактики, а также теория звездообразования.

Проведено исследование популяции двойных звезд в рассеянных звездных скоплениях (РЗС) Галактики с использованием данных космической миссии Европейского космического агентства Gaia. Разработаны две независимые методики определения числа неразрешенных двойных звезд в РЗС. Методики исследованы на моделях скоплений, изучены их возможности и ограничения с учетом особенностей наблюдательных данных.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ИМПУЛЬСОВ RRAT J0139+3310

Е.А. Брылякова^{1,2}, С.А. Тюльбашев¹

¹ Пущинская радиоастрономическая обсерватория

² Пущинский государственный естественно-научный институт

В 2006 году были открыты пульсары с нерегулярным импульсным излучением [McLaughlin 2006]. Такие пульсары получили название вращающиеся радиотранзиенты (Rotating Radio Transient - RRAT). Между обнаруживаемыми импульсами RRAT может проходить от нескольких секунд до нескольких часов. До сих пор неизвестно, являются ли эти пульсары такими же объектами, как канонические пульсары. Для проверки одной из гипотез о природе излучения RRAT, о том, что обнаруживаемые от них импульсы являются гигантскими импульсами канонических секундных пульсаров, был взят RRAT J0139+3310, распределение энергии импульсов которого сравнивалось с таким же распределением PSR B0320+39. Данные записывались на 32-канальном цифровом приемнике с общей полосой пропускания 2.4 МГц (диапазон рабочих частот приемника 109.04 – 111.46 МГц, по 78 кГц на канал), с частотой опроса $\tau = 12.5$ мс. С использованием 3-летних мониторинговых наблюдений был проведен слепой поиск импульсов RRAT J0139+3310 и PSR B0320+39 и получено распределение энергии импульсов. Для RRAT J0139+3310 распределение строилось по обнаруженному 331 импульсу, для PSR B0320+39 было найдено 43517 импульсов. Получены распределения импульсов пульсара и RRAT по энергиям в единицах С/Ш. В полученные распределения делалось вписывание логарифмической и степенной зависимостей. Оказалось, что для пульсара B0320+39 основная часть распределения хорошо описывается логнормальным законом, а для RRAT J0139+3310 распределение импульсов по энергиям — степенное.

КОРОНАЛЬНО АКТИВНЫЕ ЗВЕЗДЫ В НАПРАВЛЕНИИ НА ЦЕНТР ГАЛАКТИКИ

Б.А. Гиниятуллин

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики

В конце 2019 года обсерватория «Спектр-РГ» начала свой четырехлетний обзор всего неба. В результате четырех лет наблюдений будут зарегистрированы сотни тысяч коронально активных звезд в нашей галактике. Однако каждая отдельная из этих звезд будет наблюдаться всего несколько сотен секунд.

Центр нашей Галактики, сверхмассивная черная дыра Sgr A*, наблюдалась рентгеновскими телескопами в течении сотен продолжительных (1-100 кс) наблюдений. В нашей работе по архивным данным обсерваторий Swift/XRT, XMM-Newton и Chandra мы искали близкие коронально активные звезд в направлении на центр Галактики. Большой объем накопленных данных позволяет решать задачи, дополняющие данные «eROSITA»: исследовать долговременную переменность коронально активных звезд (подобную 11-летнему Солнечному циклу), искать вспышки на масштабах часов и дней, характерные, например, для М-карликов, а также исследовать спектральную переменность подобных объектов.

В процессе исследования были получены спектры и кривые блеска для источников Gaia DR2 4057468115778966016 и Gaia DR2 4057469558887972352 - двух ярких коронально активных двойных звезд, лежащих близко к направлению на Галактический центр. В ходе анализа данных была обнаружена первая известная вспышка от одного из источников, Gaia DR2 4057469558887972352. По полученным кривым блеска было выяснено, что на длительных промежутках времени эти источники обладают переменчивостью с фактором 2.

ПОИСК НЕТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК ВОЛОСЫ ВЕРОНИКИ В РЕНТГЕНОВСКОМ ДИАПАЗОНЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПЕКТРА

Е.С. Данилов^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский физико-технический институт*

Классическим применением спектральных наблюдений в жестком рентгеновском диапазоне является измерение напряженности магнитного поля путем сравнения обратного Комптона и радио-синхротронного излучения. Основным объектом таких исследований является скопление галактик Волосы Вероники (далее — объект), которое обладает ярким и хорошо исследованным радио гало. Так как скопление Волосы Вероники является так же ближайшим богатым скоплением галактик, его наблюдала практически каждая летавшая рентгеновская обсерватория. В статье 2008 года Лутовинов А.А. и др. получили ограничение на поток нетепловой компоненты кластера Волосы Вероники в жестком рентгеновском диапазоне по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ. В данной работе представлен систематический анализ излучения исследуемого объекта по более точным данным обсерватории ИНТЕГРАЛ с целью улучшения ограничения потока нетепловой компоненты и потенциального перехода от ограничения к детектированию.

В первую очередь в работе показано что характерный угловой размер объекта, полученный из его радиального профиля, существенно превышает PSF, а значит объект является протяженным. То же было получено при анализе кривых роста исследуемого объекта и других заведомо точечных объектов. Полученная кривая роста для исследуемого скопления удовлетворяет бета-модели $S(r)=S_0(1+r/2r_c)^{-3\beta+0.5}$, которая и была использована при свертке вместо PSF (аппаратная функция прибора) для получения спектра объекта. Фитирование модели теплового излучения арес были проведено на данных обсерваторий RXTE, ROSAT (Лутовинов и др., 2008) и Верро-SAX (Fusco-Femiano, 2004). Для моделирования нетепловой компоненты излучения, зарегистрированной обсерваторией ИНТЕГРАЛ был использован степенной закон с показателем 2. Фитированием модели по χ^2 -квадрат планируется получить верхнюю границу потока нетеплового излучения объекта и при достаточной точности перейти от оценки ограничения потока к его детектированию.

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ SH2-235

М.В. Демьяненко

Московский физико-технический институт

В настоящее время звездообразование и эволюция молодых звезд — быстро развивающийся раздел астрофизики. Причина этому — в том числе рост базы наблюдательных данных, а также улучшение разрешения и возможностей аппаратуры с каждым годом. Данная работа посвящена изучению физических параметров области ионизированного водорода Sh2-235. Построение модели данного объекта даст нам в дальнейшем больше возможностей для изучения индуцированного звездообразования вокруг Sh2-235 [1]. Актуальность задачи также основывается на том, что туманность является типичным представителем области ионизированного водорода (т.н. область H II) для нашей Галактики.

Концепция этого исследования состоит в решении обратной задачи: имеется набор наблюдательных данных и «чёрный ящик» в космосе; далее производится моделирование с помощью определенных инструментов, опираясь на наблюдения. Модель туманности зависит от множества физических параметров, но подбирать их абсолютно идентично к данным с телескопа не имеет смысла, так как будет совершено превышение точности наблюдений. Нам же достаточно использовать несколько параметров и варьируя их, получить оптимальные значения.

В этой работе используются данные с фотометра MaNGaL — Mapper of Narrow Galaxy Lines. Этот прибор komponует в себе сканирующий интерферометр Фабри-Перо, работающий в режиме перестраиваемого фильтра (tunable-filter), и среднеполосный светофильтр для наблюдений линий в диапазоне 4600-7500 Å. Для изучения свойств газа в туманности, например: электронной температуры T_e , электронной плотности n_e , оптической толщины, требуется добиться разрешения, позволяющего полноценно рассмотреть две соседние эмиссионные линии (например, дублет ионизированной серы). Это реализуется благодаря малому порядку интерференции и относительно большому расстоянию между соседними порядками в требуемом диапазоне [2].

Мы наблюдаем область H II вокруг центральной ионизирующей звезды с известными характеристиками: расстояние до неё $d=1.65$ кпк, светимость $L=69000 L_\odot$, эффективная температура $T_{\text{eff}}=30200$ К. Параметры туманности из оценки по спектральному классу центральной звезды: $T_e=7280$ К, $n_e \approx 100 \text{ см}^{-3}$.

С помощью программы Cloudy [3] для теоретического моделирования спектров и многих физических параметров, и библиотеки PyCloudy [4], которая позволяет работать с этой программой в Python, мы получили изображения области в линиях дублета [SII], H_α , H_β и [NII].

Используя наблюдательные данные и результаты моделирования, мы можем определить

$$\chi^2 = 1/N \sum (F_{\text{cloudy}} - F_{\text{observe}})^2 / (\text{errors})^2 \quad (1),$$

где N — количество варьируемых параметров.

Далее получаем общий χ^2 для изображений во всех имеющихся спектральных линиях. Используя библиотеку SciPy ищем глобальный минимум этого значения в пространстве параметров, и находим искомые оптимальные

параметры туманности. Была проделана большая часть работы, а именно: была построена начальная модель, были получены функции для визуального анализа данных, данные откалиброваны по единицам измерения и готовы к сравнению, также получены первые оценки на χ^2 .

Таким образом, благодаря полученным результатам мы можем продолжить построение точной модели и далее исследовать физические закономерности для Sh2-235. В дальнейшем планируется использование данного подхода с помощью Cloudy применительно к построению моделей других физических объектов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-72-10132.

Литература

1. Kirsanova M.S. et al. Star formation around the H II region Sh2-235. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 388, Issue 2, Pages 729–736, August 2008.
2. Перепелицын А.Е., Моисеев А.В. Редуктор светосилы с перестраиваемым интерференционным фильтром для малых и средних телескопов // Известия Главной астрономической обсерватории в Пулковке. 2018. Т. 218. С. 65-75.
3. Ferland G. J. et al. The 2013 release of Cloudy // Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica. 2013. Vol. 49. P. 137-163
4. Morisset Christophe et al. Cloudy_3D, a new pseudo-3D photoionization code // Planetary Nebulae in our Galaxy and Beyond, Proceedings of the International Astronomical Union, Symposium #234. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. P.467
5. Morisset Christophe et al. Cloudy_3D, a new pseudo-3D photoionization code // Planetary Nebulae in our Galaxy and Beyond, Proceedings of the International Astronomical Union, Symposium #234. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. P.467-468

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ УТОЧНЕНИЯ ОРБИТ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА «МИЛЛИМЕТРОН» («СПЕКТР-М»)

П.Р. Запевалин, А.Г. Рудницкий

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

«Миллиметрон» («Спектр-М») – космическая обсерватория миллиметрового, субмиллиметрового и дальнего инфракрасного диапазонов длин волн с охлаждаемой антенной диаметром 10 м. Обсерватория будет работать в двух режимах – в режиме одиночного телескопа и в составе наземно-космического интерферометра (КРСДБ) совместно с крупнейшими наземными телескопами. Благодаря расположению космической обсерватории в районе точки Лагранжа L₂, находящейся на расстоянии в 1.5 млн км от Земли в антисолнечном направлении, достигается сверхвысокое угловое разрешение, вплоть до сотых долей угловой микросекунды.

С запуском проекта «Радиоастрон» стала очевидной необходимость определения положения космического аппарата (КА) на высокоапогейных орбитах с высокой точностью. Поэтому для успешной работы проекта «Миллиметрон» и для корреляции наблюдений на наземно-космическом интерферометре, так-же необходимо с максимально высокой точностью определять орбиту КА.

В настоящее время в лаборатории баллистико-навигационного обеспечения АКЦ ФИАН в рамках создания полноценного вычислительного комплекса для решения баллистико-навигационных задач ведутся работы по созданию надежного и точного инструмента по уточнению орбиты КА. Такой инструмент предлагается разрабатывать на основе метода фильтрации Калмана и МНК.

В данном докладе отражен текущий ход работ по созданию программно-математического модуля уточнения орбит. В настоящее время в лаборатории ведется отладка модуля на моделируемых измерениях различного типа, а так-же его проверка на реальных траекторных измерениях, полученных в ходе работы проекта «Спектр-Р».

ОПТИЧЕСКАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ АКТИВНЫХ ЯДЕР ГАЛАКТИК СО ЗНАЧИМЫМИ СДВИГАМИ РСДБ-GAIA ПОЛОЖЕНИЙ

Д.И. Зобнина

*Астрокосмический центр Физического института
им. П.Н. Лебедева РАН*

Порядка 900 значимых сдвигов положений ядер активных галактик в радио диапазоне относительно оптики было обнаружено при сравнении РСДБ и Gaia наблюдений. Они имеют величины от 1 до более чем 10 mas и их направление в основном параллельно джету на масштабах парсек. О сдвигах по направлению джета говорят в том случае, когда вектор, направленный от положения ядра в радио к положению в оптике, совпадает с направлением джета. Когда вектор направлен в противоположную сторону, смещение происходит против направления джета. Согласно интерпретации, сдвиги против направления джета возникают, когда в потоке оптического излучения доминирует аккреционный диск, тогда как синхротронное самопоглощение сдвигает положение в радио по джету. Смещение же в противоположную сторону появляется из-за яркого оптического джета, который сдвигает центроид в оптике (Plavin et al., 2019, ArJ, 871, 143). Это было проверено с помощью данных оптической линейной поляризации. Анализ показал, что степень поляризации сдвигов против направления джета значимо меньше, чем у сдвигов по джету (Kovalev et al., 2020, MNRAS, 493, L54). Это подтверждает рассмотренную интерпретацию: оптическое тепловое излучение аккреционного диска слабо поляризовано по сравнению с синхротронным излучением оптического джета. Также оказалось, что для большого количества источников направление поляризации совпадает с направлением джета, что говорит в пользу моделей с тороидальным магнитным полем.

К ВОПРОСУ О НУКЛЕОСИНТЕЗЕ НЕЙТРОННЫХ ЗВЁЗД

А.Ю. Игнатовский^{1,2}, Г.С. Бисноватый-Коган^{1,2,3},

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский физико-технический институт*

³ *Национальный исследовательский ядерный университет Московский инженерно-физический институт*

Основными предметами изучения ядерной физики являются процессы энерговыделения и образования химических элементов. В последнее время возросло качество получаемых ядерных данных, в частности о переобогащённых нейтронами короткоживущих ядер. Также возрос объём получаемых наблюдаемых данных по нейтронным звёздам.

Целью текущей работы является определение скоростей различных реакций при заданных температуре и плотности; разработка методики расчёта процессов, протекающих в коре нейтронных звезд и получение эволюции химических элементов и свободных частиц, принимающих участие в этих процессах. Для решения вышеупомянутых задач была написана программа для расчёта скоростей ядерных реакций и эволюции системы. Было использовано приближение ядерного статистического равновесия (система находится при очень высокой температуре).

Текущая программа может найти своё применение в моделировании образования неравновесного слоя нейтронных звёзд.

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОИСКА ОПТИЧЕСКИХ ТРАНЗИЕНТОВ В БОЛЬШИХ ПОЛЯХ ЛОКАЛИЗАЦИИ

К.В. Камышников, Н.С. Панков

Институт космических исследований РАН

С появлением быстрых обзоров для больших областей небесной сферы, например ZTF и LSST, появляется задача поиска и классификации оптических транзиентов в режиме реального времени. Необходимость потокового поиска особенно актуальна для короткоживущих транзиентов, таких как оптическое излучение космических гамма-всплесков в активной фазе и в фазе послесвечения, килоновых, в частности, связанных с гравитационно-волновыми событиями, регистрируемыми гравитационно-волновыми детекторами LIGO/Virgo/KAGRA. Разработка конвейера потоковой обработки включает в себя предварительную обработку и калибровку получаемой информации, астрометрию и фотометрию источников поля, создание каталога, поиск кандидатов в транзиентные события, построение кривой блеска, и классификацию оптических транзиентов. Мы обсуждаем блок-схему программного конвейера для поиска и классификации транзиентов и, как часть этой схемы, демонстрируем разработку программного обеспечения, позволяющего проводить калибровку изображений, формировать MySQL каталог объектов поля и выделять объекты - кандидаты в транзиентные события на основе сравнения с каталогом USNO-B1.0. Обсуждаются алгоритмы и методы реализации программного обеспечения для конвейера потоковой обработки.

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗЛУЧЕНИЯ ДВОЙНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ПУЛЬСАРА GRO J2058+42 ВО ВРЕМЯ ВСПЫШКИ 2019 ГОДА

А.А. Клепач^{1,2}, А.А. Лутовинов¹, С.В. Мольков¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

Пульсар GROJ2058+42 входит в состав двойной системы с нормальным Ве-компаньоном. В таких системах время от времени случаются мощные вспышки рентгеновского излучения, во время которых рентгеновская светимость может за несколько дней увеличиться на два порядка и затем уменьшаться до прежних значений в течении нескольких месяцев. Это дает возможность, на примере лишь одной системы, исследовать физические процессы, связанные с аккрецией вещества на замагниченную нейтронную звезду в широком динамическом интервале темпов аккреции. В данной работе мы исследуем такую вспышку, произошедшую в системе весной 2019 года. В результате была открыта циклотронная линия поглощения на энергии 10 кэВ и показано, что данная энергия не меняется в зависимости от светимости. Примечательной особенностью является и то, что циклотронное поглощение присутствует только на определенной фазе вращения пульсара.

ФОРМИРОВАНИЕ ШИРОКИХ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРАХ ИЗЛУЧЕНИЯ АККРЕЦИРУЮЩИХ ЧЕРНЫХ ДЫР

К.Е. Кондратенко^{1,2}, С.Ю. Сазонов²

¹ *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

Проведено моделирование рассеяния фотонов аккреционного диска на его горячей короне. Получены профили уширенной линии железа K_{α} (6.4 кэВ) в зависимости от параметров диска и короны, а также от направления наблюдения.

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АНИЗОТРОПНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ЕЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ В ЗАМАГНИЧЕННЫХ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗДАХ

И.А. Кондратьев^{1,2}, С.Г. Моисеенко¹,
Г.С. Бисноватый-Коган^{1,3,4}, М.В. Глушихина¹

¹ *Институт Космических Исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики*

³ *Национальный исследовательский ядерный университет Московский инженерно-физический институт*

⁴ *Государственный университет Московский физико-технический институт*

Магнитные поля на поверхности нейтронных звезд могут составлять $\sim 10^{12-13}$ Гс и более. Один из способов оценки величины магнитного поля на поверхности нейтронной звезды основан на наблюдении ее теплового излучения в мягком рентгеновском диапазоне.

Периодические изменения спектра таких объектов говорят о неоднородном распределении их поверхностной температуры, связанном с влиянием поля. Ввиду того, что во внешних слоях (коре и оболочке) нейтронной звезды коэффициент теплопроводности подавлен в направлении поперек магнитного поля, среда становится анизотропной. В данной работе численно исследуются трехмерные эффекты анизотропного распространения тепла во внешних слоях замагниченной нейтронной звезды для суперпозиции магнитных полей дипольного и квадрупольного типов. Получены стационарные распределения температуры в объеме коры и на поверхности нейтронной звезды путем решения уравнения теплопроводности с тензорным коэффициентом теплопроводности. Для оценки наблюдательных проявлений от полученных распределений температуры были смоделированы тепловые кривые блеска в локально-чернотельном приближении с учетом эффектов общей теории относительности. Показано, что наличие в нейтронной звезде несоосного с дипольным квадрупольного магнитного поля может существенно изменить как амплитуду пульсаций, так и форму пиков на кривых блеска, по сравнению с дипольным полем.

НЕЙТРИННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СВЕРХНОВОЙ С КОЛЛАПСОМ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ

Е.А. Коптяева

*Ярославский государственный университет
им. П.Г. Демидова*

В работе исследовалась возможность аналитического описания нейтринного излучения сверхновой с коллапсом центральной части при помощи одночастичной функции распределения. Более ранние исследования, имеющиеся в литературе, показали, что возможны два варианта аналитического представления распределения нейтрино по их энергии. Однако в ряде задач требуется знание также и их углового распределения. Так как распространение нейтрино в сверхновой происходит практически сферически симметрично, то их распределение в каждой точке будет зависеть лишь от угла между импульсом нейтрино и радиальным направлением, а также от их энергии. Кроме того, можно предположить, что одночастичная функция распределения нейтрино в сверхновой может быть представлена в виде произведения ее энергетической и угловой части. В данном приближении для угловой части функции распределения предложено простое аналитическое двухпараметрическое выражение. На имеющихся в литературе данных показано, что данное выражение хорошо описывает угловое распределение нейтрино в большей части сверхновой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 18-72-10070.

ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ХАББЛА ПО ВРЕМЕННЫМ ЗАДЕРЖКАМ МЕЖДУ ИЗОБРАЖЕНИЯМИ SN REFSDAL

А.А. Круглов^{1,2}, Н.С. Лыскова^{1,3}, П.В. Бакланов⁴

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет Московский физико-технический институт*

³ *Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики*

⁴ *Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра Курчатовский институт*

В настоящее время значения основных космологических параметров известны с очень высокой точностью. Однако недавно было обнаружено расхождение на уровне значимости примерно 3σ величины постоянной Хаббла H_0 , определяющей темп расширения Вселенной в современную эпоху. Для понимания причин этого расхождения необходимо привлечение независимых подходов, способных с высокой точностью определять фундаментальные космологические параметры. Одной из таких возможностей является использование наблюдений гравитационно линзированных систем, в частности, гравитационно линзированных сверхновых. SN Refsdal - первая обнаруженная гравитационно линзированная сверхновая со множественными изображениями - предоставила уникальную возможность измерить значение постоянной Хаббла. Как известно, запаздывание между различными изображениями сверхновой обратно пропорционально H_0 , то есть точность определения постоянной Хаббла ограничена точностью определения временной задержки между изображениями источника. На основе построенной физической модели предсверхновой, удовлетворяющей фотометрическим наблюдениям в разных фильтрах, получены уточненные значения временных запаздываний и коэффициентов усиления между изображениями SN Refsdal. Для уменьшения статистических ошибок значение постоянной Хаббла рассчитывается по нескольким изображениям. Прогнозы временных задержек и коэффициентов усиления, рассчитанные в различных моделях гравитационного потенциала линзы-галактики, масштабируются таким образом, чтобы они совпадали с наблюдаемыми величинами. На основе этого сравнения вычисляется значение постоянной Хаббла, наиболее точно удовлетворяющее и модельным, и наблюдательным данным. Полученные результаты также могут послужить независимым тестом различных моделей распределения масс в линзе-галактике.

ФАЗИРОВАННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ МАГНИТАРА SGR J1745- 2900 ПО ДАННЫМ ТЕЛЕСКОПА NUSTAR

Е.А. Кузнецова¹, А.А. Лутовинов^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики*

24 апреля 2013 года в ходе программы мониторинга области Галактического центра телескопом Swift X-ray Telescope (XRT) была зарегистрирована рентгеновская вспышка от источника, который двумя днями позже проявил себя как короткий (~32 мс) рентгеновский всплеск. Этот источник был идентифицирован как новый магнитар SGR J1745-2900, расположенный в непосредственной близости от сверхмассивной черной дыры (СМЧД) Sgr A* на расстоянии 2,4''. Наблюдения SGR J1745-2900 телескопом NuSTAR выявили пульсации с периодом ~3.76 с и скоростью замедления ~ $6.5 \cdot 10^{-12}$ с/с. Магнитар SGR J1745-2900 является изолированной нейтронной звездой с магнитным дипольным моментом ~ $2 \cdot 10^{14}$ Гс. Спектр магнитара можно представить как комбинацию модели излучения абсолютно черного тела с температурой $kT \sim 1$ кэВ и модели степенного закона с фотонным индексом $\Gamma \sim 1.5$. Мониторинг SGR J1745 – 2900 телескопом NuSTAR в течение четырех месяцев после первой вспышки выявил монотонное падение потока магнитара в диапазоне 3 – 10 кэВ и кТ. Мы представим спектральный анализ и фазированную спектроскопию излучения магнитара по наблюдениям телескопом NuSTAR в 2013 г.

ЭВОЛЮЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО ОБЛАКА СТРЕЛЕЦ B2 НА ЭНЕРГИЯХ ДО 60 КЭВ ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИИ ИНТЕГРАЛ С 2002 ПО 2019 гг.

Е.А. Кузнецова¹, Р.А. Кривонос¹, А.А. Лутовинов^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики*

Стрелец B2 – самое массивное (около $5 \times 10^6 M_{\odot}$ масс Солнца) молекулярное облако в Центральной Молекулярной Зоне (ЦМЗ). Его излучение представляет собой смесь компонент яркой флуоресцентной линии железа 6,4 кэВ с большой эквивалентной шириной и нетеплового степенного континуума с фотонным индексом ~ 2 . Предположительно, по излучению молекулярных облаков в рентгеновском диапазоне можно обнаружить отраженные жесткие рентгеновские вспышки от источников, подобных сверхмассивной черной дыре (СМЧД) Стрелец A*, расположенной в центре Галактики (механизм «комптоновского зеркала», Сюняев и др. 1993, Ревнивцев и др. 2004). Эволюция излучения молекулярного облака Стрелец B2 в жестком рентгеновском диапазоне энергий, прослеженная до 2009 г. по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ, показала падающий характер со временем полураспада около 8 лет, что подтверждает гипотезу комптоновского зеркала и прошлой активности СМЧД Стрелец A* (Терриер и др., 2010).

Логично предположить, что при дальнейших наблюдениях молекулярного облака Стрелец B2 ожидается либо дальнейшее понижение излучения Стрельца B2 ниже порога чувствительности телескопа IBIS/ISGRI, установленного на обсерватории ИНТЕГРАЛ, либо увеличение потока, что будет говорить о возможных других вспышках СМЧД. В данный момент существуют предположения о других вспышках Стрельца A* (Клавель и др., 2013), которые могли бы быть обнаружены по излучению молекулярных облаков Галактического центра. Мы представим дальнейшую эволюцию жесткого рентгеновского излучения от облака Стрелец B2 по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ, что поможет получить более полную картину активности СМЧД Стрелец A*. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-32-90283.

КАЛИБРОВКА ПОРОГОВ В ПУАССОНОВСКОМ РЕЖИМЕ НА РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ТЕЛЕСКОПА SRG/ART-XC

А.Р. Ляпин, Р.А. Буренин

Институт космических исследований РАН

Были откалиброваны пороги обнаружения источников в пуассоновском режиме для изображений, полученных в рентгеновском диапазоне с помощью телескопа SRG/ART-XC и свернутых с несколькими оптимальными фильтрами. Процедура нахождения порогов реализована на двумерной сетке значений рентгеновского фона и допустимого числа ложных источников на свернутом изображении.

МЮОННЫЙ ТЕЛЕСКОП В АПАТИТАХ

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

Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

На станции космических лучей в Апатитах дополнительно к стандартному нейтронному монитору (НМ), бессвинцовой секции НМ и детектору гамма-излучения добавлен мюонный телескоп. Рабочим телом являются две пластины пластикового сцинтиллятора 0.25 кв.м. площадью каждая и толщиной 5 см, разделенные слоем свинца 10 см. Выходными каналами являются счет верхнего сцинтиллятора и канал совпадений импульсов от двух пластин. Мюонный телескоп смонтирован на поворотной платформе, позволяющей вращать телескоп по двум горизонтальным осям. Мюонный телескоп расширяет диапазон регистрируемых космических лучей на станции Апатиты до сотен ГэВ. Кроме того, мюонный телескоп непосредственно измеряет поток заряженных частиц вторичных космических лучей: электроны, позитроны и мюоны. Прямые измерения мюонным телескопом используются для верификации численных моделей прохождения космических лучей через атмосферу. Также данные мюонного телескопа используются при изучении нового явления: возрастания гамма-фона при осадках.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДЛЁННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SPI-ACS/INTEGRAL

Г.Ю. Мозгунов^{1,2}, П.Ю. Минаев², А.С. Позаненко²

¹ *Государственный университет Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

В работе исследована активность космических гамма-всплесков в жёстком энергетическом диапазоне (>80 кэВ) после окончания основного эпизода, называемая продлённым излучением. По данным SPI-ACS/INTEGRAL проведён поиск продлённого излучения в кривых блеска 746 наиболее мощных гамма-всплесков. Оно обнаружено примерно у четверти исследованных гамма-всплесков и характеризуется степенным падением кривой блеска со временем с показателем степени $\gamma \sim -1$. Подобное поведение характерно для компоненты послесвечения, которое ранее наблюдалось, в основном, в оптическом и рентгеновском диапазонах.

ГАММА-ВСПЛЕСКИ, АССОЦИИРОВАННЫЕ С ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВЫМИ СОБЫТИЯМИ LIGO/VIRGO

П.Ю. Минаев

Институт космических исследований РАН

Новая эра в астрофизических исследованиях началась в 2015 году, когда гравитационно-волновые детекторы LIGO впервые зарегистрировали сигнал от сливающихся черных дыр (GW 150914). Гравитационно-волновой сигнал ожидается и при слиянии двух нейтронных звезд (BNS), которое может сопровождаться излучением в электромагнитном диапазоне в виде коротких гамма-всплесков и килоновой в оптическом диапазоне. Действительно, от гравитационно-волнового события GW 170817 в 2017 году был впервые в истории зарегистрирован электромагнитный сигнал как в гамма-диапазоне (гамма-всплеск GRB 170817A), так и в широком энергетическом диапазоне от радио- до рентгеновского излучения (килоновая AT2017gfo). Гамма-всплеск GRB 170817A обладает рядом особенностей, которые удастся объяснить наблюдением источника под большим углом к оси выброса (джета). В следующем цикле наблюдений 2019-2020 гг. детекторы LIGO/Virgo зарегистрировали второе в истории гравитационно-волновое событие, связанное со слиянием нейтронных звезд (GW 190425), электромагнитное излучение которого удалось зарегистрировать лишь в гамма-диапазоне с помощью детектора SPI-ACS обсерватории INTEGRAL. В обзорном докладе приведены статистика и свойства гамма-всплесков ассоциированных с гравитационно-волновыми событиями LIGO/Virgo, обсуждается тактика поиска электромагнитных компонентов.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ CP-ЗВЕЗД

А.В. Моисеева¹, И.И. Романюк¹, И.А. Якунин^{1,2},
Е.А. Семенко¹, Д.О. Кудрявцев¹

¹ Специальная астрофизическая обсерватория РАН

² Санкт-Петербургский государственный университет

Химически пекулярные звезды (CP-звезды) -- это довольно интересные объекты, которые отличаются от нормальных звезд наличием различных аномалий. В нашей работе основой послужили кандидаты в магнитные химически пекулярные звезды (mCP-звезды). Они обладают крупномасштабным и глобальным магнитным полем. Например, среднее значение поверхностного магнитного поля B_s на Солнце достигает 1-3 Гс, локальное поле в пятнах может достигать до 2-3 кГс, а mCP-звезды могут достигать среднего значения поля B_s 20-30 кГс. Таким образом, изучение подобных звезд является интересной задачей.

Фундаментальные параметры (эффективная температура T_{eff} , ускорение силы тяжести $\log(g)$, светимость $\log\left(\frac{L}{L_{\text{sun}}}\right)$, масса $\frac{M}{M_{\text{sun}}}$, радиус $\frac{R}{R_{\text{sun}}}$, возраст $\log(t)$) могут полностью описать физическое и эволюционное состояние изучаемого объекта. Их определение является целью данной работы.

В результате, нами были оценены параметры наиболее подходящими методами для почти 150 CP-звезд. Были построены гистограммы распределения параметров, проведены статистические расчеты и оценен эволюционный статус каждого объекта.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СИЛЬНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В РАВНОМЕРНО РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ. СФЕРИЧЕСКАЯ ПУСТОТА

С.А. Панафидина^{1,2}, Г.С. Бисноватый-Коган^{1,3}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

³ *Национальный исследовательский ядерный
университет МИФИ*

В рамках исследования сильных взрывов в расширяющейся вселенной рассмотрена задача о распространении сильной ударной волны в равномерно расширяющейся среде, соответствующей решению Фридмана для плоской Вселенной.

Для различных значений показателя адиабаты решения, как приближенные аналитические, так и численные, принципиально отличаются друг от друга. Для значений показателя адиабаты, превышающих некоторое критическое значение (1.155 для численного решения и 1.1782 для аналитического), образуется концентрическая вакуумная полость (каверна) внутри сферы, ограниченной ударной волной, на конечном расстоянии за взрывом. Аналогичные каверны описаны Л.И.Седовым для ударной волны в статическом однородном газе без учета гравитации.

Исследуется поведение решений при больших значениях показателя адиабаты: при достижении значений показателя адиабаты, больших критического значения, аналитическое решение перестает быть физическим, а численное - расходится и перестает существовать.

Все вещество вытесняется в узкий слой, расположенный у границ волнового фронта. В исследованиях проводится сравнительный анализ характеристик каверн в приближенном аналитическом и численном решениях. Также исследуется зависимость автоматического радиуса «дырки» в пространстве, возникающей внутри сферы, ограниченной ударной волной, от значения показателя адиабаты газа.

ПРИЛИВНОЕ УСКОРЕНИЕ В СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНОЙ МЕТРИКЕ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ ДЕВИАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ

А.М. Расулова^{1,2}

¹ Лаборатория теоретической физики им. А.А. Фридмана

² Институт озероведения РАН

В работе проанализировано модифицированное уравнение девиации геодезических в метрике Шварцшильда. Основным отличием модифицированного уравнения от классического является, то, что первое описывает любые две геодезические с произвольным не обязательно параллельным касательным вектором. Произведен анализ знаков второй производной компонент вектора девиации, отвечающих за силы притяжения (или отталкивания) двух тестовых частиц друг от друга.

При движении двух или более тестовых частиц, находящихся на бесконечно-близком расстоянии друг от друга, в искривленном пространстве-времени происходит их отклонение. Общий вид уравнения девиации геодезических для n -мерного риманова многообразия был получен Т.Леви-Чивита в 1925 г. в работе [1]. В случае 4-мерного пространства уравнение девиации геодезических было исследовано в работах Дж.Л. Синга [2, 3], и А. Шилда [4]. Уравнение имеет следующий вид:

$$\frac{D^2 \eta^i}{d\tau^2} = R^i_{jkm} u^j \eta^k u^m, \quad (1)$$

где η^i - бесконечно малое векторное отклонение (вектор девиации геодезических), ∇ - аффинный параметр, R^i_{jkm} - тензор кривизны, u^i - касательный вектор к геодезической.

Однако, уравнение (1) неприменимо, если разница между касательными векторами не является бесконечно малой величиной. В связи с этим в работах [5, 6] рассматривается обобщение уравнения девиации для геодезических на любом расстоянии. Модифицированное уравнение имеет вид:

$$\frac{D^2 \eta^i}{d\tau^2} = R^i_{jkm} u^j \eta^k u^m - \Gamma^i_{km,n} \eta^n \Delta u^k \Delta u^m - 2\Gamma^i_{m,n} \eta^n u^k \Delta u^m - \Gamma^i_{km} \Delta u^m u^m - \Gamma^i_{km} \Delta u^k \Delta u^m \quad (2)$$

где Γ^i_{km} - символ Кристоффеля, $\Delta u^m = u^m_2 - u^m_1$ - уже не является бесконечно малой величиной. В случае если Δu^m - бесконечно малая, то уравнение (2) переходит в уравнение [7].

В данной работе представлен анализ уравнения (2) для сферически-симметричной метрики Шварцшильда. Анализ классического уравнения девиации в метрики Шварцшильда представлен, например, в работе [7].

Уравнения девиации геодезических, как в классическом, так и в модифицированном виде физически будут проявлять себя как относительное ускорение между двумя телами в искривленном пространстве. Однако в модифицированном появляются дополнительные слагаемые. Показано, что наличие дополнительных членов в уравнении (2) не влияет на знак ускорения, то есть притяжение (или сжатие) тела в поле метрики Шварцшильда будет происходить аналогично классическому случаю.

Благодарности:

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 18-02-00461 А).

Литература

1. Levi-Civita, T. The absolute differential calculus / T. Levi-Civita. -- Glasgow: Blackie and Son, 1926. -- 450 p.
2. Synge, J.L. On the deviation of geodesics and null-geodesics, particularly in relation to the properties of spaces of constant curvature and indefinite line-element / J.L. Synge // Ann. Math. -- 1934. -- Vol.35, №4. -- P.705–713.
3. Synge, J.L. Relativity: The General Theory / J.L. Synge. -- Amsterdam: North-Holland Publishing company, 1960 -- 432 p.
4. Schild, A. Tensor Calculus / A. Schild, J. L. Synge. -- New-York: Dover Publications, Inc., 1978. -- 336 p.
5. Hodgkinson, D.E. A modified equation of geodesic deviation / D.E. Hodgkinson -- Gen Relat Gravit. -- 1972. -- Vol. 3. -- PP.351–375.
6. Ciufolini, I. Generalized geodesic deviation equation / I. Ciufolini -- Phys. Rev. D -- 1986. -- Vol. 34(4). -- PP.1014–1017.
7. Расулова А.М. Анализ Уравнений девиации геодезических в метрике Шварцшильда // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. – 2016. No 4. – С.106-113.

СВОЙСТВА РЕНТГЕНОВСКИХ ПУЛЬСАРОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПАХ АККРЕЦИИ

А. Салганик¹, С.С. Цыганков^{2,3}

¹ *Астрономическое отделение, Санкт-Петербургский государственный университет*

² *Институт космических исследований РАН*

³ *Университет Турку*

Исследование спектральных и временных свойств рентгеновских пульсаров и аккрецирующих миллисекундных пульсаров в низком состоянии позволяет изучать не только взаимодействие их магнитосферы с аккреционным потоком, но и внутреннее строение нейтронных звёзд, измерять их основные параметры. Характерным проявлением этого взаимодействия является переход источника либо в «режим пропеллера», когда вещество останавливается вращающейся магнитосферой нейтронной звезды, либо в режим аккреции из холодного слабоионизованного диска. Для статистически полного исследования указанных эффектов нами было проведено исследование набора рентгеновских пульсаров, используя данные телескопа Chandra. Полученные результаты обсуждаются в рамках существующих теоретических моделей.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ДИНАМИКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА «МИЛЛИМЕТРОН» («СПЕКТР-М»)

Т.А. Сячина, М.А. Щуров, П.В. Мжельский,
А.Г. Рудницкий

Астрокосмический центр Физического института РАН

Обсерватория «Миллиметрон» («Спектр-М») – 10-метровый космический телескоп, создаваемый для проведения наблюдений в широком диапазоне длин волн электромагнитного спектра – от дальнего ИК до миллиметрового. «Миллиметрон» будет способен выполнять научные наблюдения в двух режимах: режиме одиночного телескопа и режиме наземно-космического интерферометра (КРСДБ). Данный режим предоставляет возможность проведения наблюдений с высоким угловым разрешением вплоть до 10^{-8} угловых секунд дуги.

Выбор орбиты космического аппарата Миллиметрон – нетривиальная задача. Основная сложность заключается в удовлетворении одновременно требований двух режимов работы обсерватории. Чтобы полностью реализовать возможности этих режимов, возникает необходимость рассмотреть различные типы орбит для нахождения оптимальной траектории.

Лаборатория баллистико-навигационного обеспечения АКЦ ФИАН ведет разработку вычислительного комплекса для решения баллистико-навигационных задач с целью обеспечения не только миссии «Миллиметрон», но и других проектов. Частью комплекса является модуль динамики полета космического аппарата. Этот инструмент позволит точно рассчитывать траектории движения космического аппарата и выбирать из них наиболее оптимальную, исходя из научных задач обсерватории.

В текущем докладе представлен ход работ по созданию модуля динамики космического аппарата. На данный момент реализовано полное константно-эфемеридное обеспечение и расчет траектории полета. Проводятся работы по проектированию космических перелетов.

ОБЗОР ГАЛАКТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ПО ДАННЫМ SRG/ART-XC

Г.С. Усков, С.Ю. Сазонов

Институт космических исследований РАН

По данным рентгеновского телескопа ART-XC, установленным на борту космической обсерватории Спектр-Рентген-Гамма (СРГ), были получены кривые блеска рентгеновских источников, находящихся в области Галактического центра.

Также было проведено сравнение возможностей телескопа ART-XC с телескопом NuSTAR FPMA.

ВОЗМОЖНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ СЛИЯНИЙ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД И БЕЛЫХ КАРЛИКОВ С ПОМОЩЬЮ EROSITA И ART-XC

А.Д. Хохрякова¹, С.Б. Попов^{1,2,3}

¹ *Физический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

² *Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга*

³ *Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики*

Слияния нейтронных звезд и белых карликов являются относительно частыми явлениями, превосходящими другие типы слияний компактных объектов (нейтронные звезды и черные дыры без белых карликов) вместе взятые. Такое событие потенциально может произвести не только оптический, но и рентгеновский всплеск. Транзиентный источник CDF-S XT2 [1] может быть примером такого типа событий, как предложено в [2]. В этой работе мы оцениваем темп таких транзиентов в поле зрения рентгеновских инструментов на борту спутника СРГ.

Мы показали, что за 4 года обзорной программы в поле зрения eROSITA может появиться несколько тысяч событий, относящихся к слияниям нейтронных звезд с белыми карликами. Коллимация рентгеновского излучения может уменьшить это число. Меньшее, но сопоставимое число транзиентов ожидается в случае телескопа ART-XC. Однако, из-за относительно короткой продолжительности - 10^4 с - в основном такие транзиенты будут видны лишь в одном скане телескопа (~ 40 с), и поэтому ожидается, что будет обнаружено лишь несколько фотонов, что делает надежную идентификацию без дополнительной информации затруднительной.

Литература

1. Y.Q. Xue et al. A magnetar-powered X-ray transient as the aftermath of a binary neutron-star merger. *Nature*, 568(7751):198–201, Apr 2019.
2. R. Fernandez et al. Nuclear-dominated accretion flows in two dimensions - II. Ejecta dynamics and nucleosynthesis for CO and ONe white dwarfs. *MNRAS*, 488(1):259–279, Sep 2019.

ФАЗОВО-РАЗРЕШЕННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ИЗОЛИРОВАННОГО ПУЛЬСАРА PSR J0540–6919 ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ NUSTAR

Н.И. Чернопис¹, С.В. Мольков²

¹ *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

В работе представлен спектральный анализ молодого 50 мс пульсара PSR J0540-6919 в зависимости от фазы вращения. Данный метод позволяет разделить компоненты, связанные с постоянным излучением родительского остатка сверхновой и пульсирующего излучения самого пульсара и дает дополнительную степень свободы в изучении геометрии системы. Использование данных обсерватории NuSTAR впервые дает возможность провести исследования в широком рентгеновском диапазоне энергий 3-78 кэВ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТИ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ NGC 2071 В ПРОЕКТЕ РАДИОАСТРОН: ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И РАЗМЕРЫ МАЗЕРНЫХ ПЯТЕН H₂O

М.А. Щуров, И.Е. Вальтц, Н.Н. Шахворостова,
О.С. Баяндина

Астрокосмический центр Физического института РАН

Туманность NGC 2071, расположенная в созвездии Ориона на расстоянии 390 пк от Солнца, являлась одним из главных объектов исследования межзвездных мазеров со сверхвысоким разрешением в рамках международной космической миссии «РадиоАстрон» (см. Кардашев и др., АЖ, 90, 179, 2013, а также сайт проекта <http://www.asc.rssi.ru/radioastron/index.html>).

Область имеет сложную структуру: в ней наблюдается множество «молекулярных ядер» (сгустки материи), мазерных пятен и биполярных потоков. Наличие последних свидетельствует о том, что протозвезды (возможно, не одна) находятся на ранней стадии эволюции, они подвержены периодически повторяющейся аккреции межзвездного вещества и сброса его излишков в процессе формирования околосреднего диска.

Сеанс наблюдений длительностью 60 минут проводился 11 января 2014 г. на частоте мазера H₂O на 22,2280 ГГц со спектральным разрешением 7.81 кГц (т.е. 0.11 км/с) на координатах одной из самых молодых областей звездообразования в этой туманности NGC2071(IRS1). Использовался 10-м космический радиотелескоп и наземная сеть с участием 64-м радиотелескопа в Калязине (Кл), Московская область, Россия), 32^м радиотелескопа (Тг) в г. Торунь (Польша) и 32^м радиотелескопа (Мс) в г. Медичина (Италия).

Корреляция данных выполнялась на программном корреляторе в Астрокосмическом центре Физического института им. Лебедева РАН [А.С. Андрианов и др., Вестник НПО им. С.А. Лавочкина 2014, № 3, 55] с последующей пост-корреляционной обработкой с использованием программных пакетов PIMA (<http://astrogeo.org/pima/>), AIPS (<http://www.aips.nrao.edu>), и CLASS – пакет, созданный в Институте миллиметровой радиоастрономии IRAM для обработки спектральных линий, (<http://www.iram.fr/~gildas/dist/index.html>).

Детектирование сигнала для 10 спектральных деталей получено на всех наземных базах. На наземно-космической базе размером 2.9 диаметров Земли была обнаружена корреляция между радиотелескопами SRT-Мс и SRT-Тг только для одной яркой детали с $V_{\text{LSR}} > \sim 14$ км/с. На полном кросс-спектре, полученном на 3х-элементном наземном интерферометре, эта деталь имела плотность потока ~ 60 Ян.



ФИЗИКА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

ГЕЛИОСФЕРНЫЕ ЭНЕРГИЧНЫЕ НЕЙТРАЛЬНЫЕ АТОМЫ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМИ IBEX-HI

И.И. Балюкин^{1,2}, В.В. Измоленов^{1,2,3},
Д.Б. Алексахов^{1,3}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

³ *Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН*

Космический аппарат (КА) Interstellar Boundary Explorer (IBEX) с 2008 г. проводит измерения потоков энергичных нейтральных атомов (ЭНА) водорода на орбите Земли при помощи инструмента IBEX-Hi в диапазоне энергий от 0.3 до 6 кэВ. Нами была разработана численная модель для вычисления потоков ЭНА, в рамках которой восстанавливаются траектории движения атомов водорода (назад по времени) от точки пространства, где они регистрируются КА IBEX, до точки их рождения во внутреннем ударном слое (в области возмущенного солнечного ветра между внутренней ударной волной и гелиопаузой), где плазма сильно нагрета ($T \sim 10^6$ К). Вдоль траектории атома вычисляются и интегрируются потоки рожденных ЭНА, имеющих заданную скорость, а также учитываются потери частиц за счет процессов ионизации (перезарядки на протонах и фотоионизации).

Определяющим фактором при моделировании является детальный учет над-термальной компоненты захваченных протонов, рожденных в области сверхзвукового солнечного ветра и захваченных гелиосферным магнитным полем, так как эта компонента является «родительской» по отношению к ЭНА. Нами была учтена над-термальная компонента путем решения для нее кинетического уравнения в предположении изотропности функции распределения всюду в гелиосфере. Такой метод выгодно отличается от других существующих подходов, так как основан на фундаментальных физических законах.

Были выполнены расчеты модельных карт потоков ЭНА на основе разработанных ранее кинетико-МГД моделей взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой (Izmodenov & Alexashov, 2015, 2020), и проведено сравнение с данными IBEX-Hi. В результате сравнения мы заключили, что 1) потоки ЭНА из области внутреннего ударного слоя крайне чувствительны к виду функции распределения захваченных протонов; 2) модель гелиосферы (Izmodenov & Alexashov, 2020), отличающаяся от модели (Izmodenov & Alexashov, 2015) конфигурацией межзвездного магнитного поля, лучшим образом воспроизводит данные IBEX-Hi; 3) несмотря на относительно хорошее совпадение, на некоторых энергетических каналах наблюдаются качественные различия между результатами расчетов и данными IBEX-Hi. Обсуждаются причины этих различий.

СТРУКТУРА ТОКОВОГО СЛОЯ ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ МНОГОСПУТНИКОВОЙ МИССИИ CLUSTER

Г.И. Варнаев¹, Е.Е. Григоренко²

¹ *Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

В данной работе исследуется структура токового слоя (ТС) в хвосте магнитосферы Земли. ТС в хвосте магнитосферы является важнейшей областью, в которой происходит накопление и высвобождение магнитной энергии. Важными факторами, влияющими на структуру и временную эволюцию ТС является ионный состав плазмы и анизотропия функции распределения. В данной работе исследовано влияние относительного содержания тяжелых ионов на структуру ТС. Для изучения этих факторов используются данные, полученные космической миссией Cluster, в частности приборами CIS и FGM для определения плазменного состава и магнитного поля соответственно. Измерения проводились в момент, когда Cluster находился на расстоянии 15 – 19 земных радиусов от Земли в геомагнитном хвосте. Для исследования структуры ТС были отобраны несколько пересечений ТС с различными относительными концентрациями легких и тяжелых ионов. Были построены пространственные распределения плотности тока в зависимости от B_x компоненты магнитного поля и координаты z вдоль нормали к плоскости ТС. Плотность тока определялась с помощью метода курлометра (Curloimeter technique). В результате установлено, что наблюдаемые профили плотности тока существенно отличаются от изотропной модели Харриса и показано влияние плазменного состава на наличие вложенных токовых структур и на толщину ТС.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СТРУКТУР В СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКЕ С ПОДАВЛЕННОЙ ЭРУПЦИЕЙ

И.В. Вовченко^{1,3}, И.В. Зимовец¹, И.Н. Шарыкин¹,
И.И. Мышьяков^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Институт солнечно-земной физики СО РАН*

³ *Московский физико-технический институт*

В данной работе продолжается детальный анализ солнечной вспышки SOL2015 – 03 – 15 класса M1.2, начатый в серии работ (Sharykin et al., 2018, 2019). Для анализа магнитных структур использовались кубы магнитного поля $97 \times 103 \times 73$, восстановленного при помощи оптимизационного NLFFF метода по фотосферным векторным магнитограммам HMI/SDO с малым шагом по времени 135 с. Основной целью данной работы является выделение, визуализация и исследование динамики магнитных жгутов во вспышечной области для определения их роли во вспышечном процессе и причины сдерживания их эрупции. Для выделения жгутов используется такой параметр как магнитная скрученность. Анализ вертикального среза скрученности силовых линий в окрестности предполагаемой области магнитного пересоединения и энерговыделения показал, что сильный электрический ток локализован над фотосферной линией инверсии магнитной полярности между системами скрученных силовых линий, по всей видимости, представляющих магнитные жгуты. Особое внимание уделено поиску признаков обратного тока. Анализ фотосферного среза выявил быстрое (порядка длительности импульсной фазы вспышки) исчезновение сильно скрученного конца одного из жгутов. Обсуждается применимость концепции магнитного пересоединения типа “отреза привязи” (tether – cutting) к данной вспышке. В качестве одной из возможных причин подавления эрупции магнитного жгута рассматривается сдерживание вышележащим магнитным полем. Для этого исследуется индекс спада потенциального поля во вспышечной области.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖЗВЕЗДНОЙ ПЫЛИ В ГЕЛИОСФЕРЕ. ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИИ СКОРОСТЕЙ

Е.А. Годенко^{1,2}, В.В. Измоленов^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

Гелиосфера движется относительно локальной межзвездной среды, в которой наряду с плазменной и нейтральной компонентами [1] присутствует также пылевая составляющая. Из-за относительного движения происходит проникновение частиц межзвездной пыли в гелиосферу. Динамика движения пылевых частиц в гелиосфере определяется влиянием трех основных сил: силы Лоренца, силы гравитационного притяжения и силы радиационного отталкивания [2]. Цель данного исследования — исследование влияния дисперсии скоростей пылевых частиц, которая возникает в межзвездной среде вследствие турбулентности, на распределение частиц межзвездной пыли в гелиосфере.

Для описания движения межзвездной пыли используется кинетический подход, который состоит в решении кинетического уравнения для функции распределения по скоростям. В качестве граничного условия рассматриваются различные комбинации дельта-функции и максвелловского распределения, параметры которого зависят от взаимодействия межзвездной пыли с межзвездным магнитным полем. Решение кинетического уравнения проводится методом Монте-Карло. При отсутствии дисперсии в граничной функции распределения частиц межзвездной пыли возможно появление сингулярных особенностей в распределении концентрации межзвездной пыли. Местоположение этих особенностей совпадает

с результатами, полученными при моделировании той же задачи методом Осипцова-Лагранжа [2]. Вычисления, проведенные для максвелловской функции распределения пылевых частиц по скоростям, показывают, что эти особенности исчезают, оставляя лишь несингулярные области повышенной концентрации.

Литература:

1. Izmodenov, V.V., Alexashov, D.B. 2015 *Astrophys. J. Suppl.* V.220, 32
2. Mishchenko, A.V., Godenko, E.A., Izmodenov, V.V., 2019, *MNRAS*, 491, 2020

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАММА-ВСПЫШЕК ЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОМ GBM КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ FERMI

Е.С. Дзюба¹, А.С. Позаненко², П.Ю. Минаев²,
В.И. Выборнов²

¹ *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

Исследованы гамма-вспышки земного происхождения, зарегистрированные экспериментом GBM космической обсерватории Fermi. Гамма-вспышки земного происхождения (TGF) – это кратковременные (~100 мксек) вспышки жесткого гамма-излучения (до 20 и более МэВ), регистрируемые космическими гамма-детекторами, размещенными на околоземных орбитах. Регистрация TGF осложняется рядом проблем, связанных с техническими особенностями регистрации. Например, различными эффектами мертвого времени. Известно, что эффекты мертвого времени значительно искажают регистрируемую кривую блеска при больших потоках регистрируемых гамма-фотонов. Целью работы является непараметрическая оценка влияния мертвого времени при регистрации событий детекторами VGO эксперимента GBM с 2008 по 2016 год. Все события каталога TGF эксперимента были разбиты на несколько групп по интенсивности TGF, затем для каждой группы была построена суммарная кривая блеска относительно максимума кривой блеска индивидуальных событий TGF. Исходя из предположения, что группа наиболее слабых событий не подвержена инструментальным эффектам и может считаться не искаженной, была получена оценка влияния мертвого времени при регистрации TGF. Для наиболее мощных событий TGF из каталога эксперимента GBM потери при регистрации гамма-фотонов составляют более 70%.

ОБРАБОТКА НАБЛЮДЕНИЙ КОМЕТЫ 21P/ДЖАКОБИНИ- ЦИННЕРА, ПОЛУЧЕННЫХ В ЗВЕНИГОРОДСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИНАСАН

Е.В. Ефремова

Институт астрономии РАН

Наблюдения кометы 21P/Джакобини-Циннера за 1985 год на телескопе Цейсс-400 Института астрономии РАН дали возможность сравнить ее геометрические размеры и ориентацию в пространстве. Размеры комы и хвоста определены по фотометрическим профилям с оценкой точности по невязкам положений звезд на полученных изображениях и в каталоге USNO – A2.0.

Комета Джакобини - Циннера (21P/Giacobini-Zinner, дата открытия 20 декабря 1900 г.) приближалась к Земле не менее 20 раз, наблюдалась, исключая пропущенные 1907, 1920 и 1953 гг.

Одной из тенденций в развитии виртуальной обсерватории является обращение к стеклотекам обсерваторий. Астронегативы, полученные путем фотографических наблюдений в ИНАСАН уже оцифрованы.

Фотографирование производилось на пластинках размером от 9×12 см до 30×30 см (8°.5×8°.5). В процессе проявления зерна увеличиваются в размерах, объединяясь с соседними и конечные размеры зерен составляют уже 15 – 20 мкм (Ризванов, 1993). Этот размер задает предел разрешения деталей на снимке.

Все снимки делались в режиме гидрирования кометы. Поэтому изображения звезд не являются точечными. Длины звездных треков варьируются в зависимости от длительности экспозиции и угловой скорости движения кометы по небесной сфере.

По пластинкам со временем экспозиции не превышающем 2-3 минут (изображения звезд не растянуты гидрированием) определены положения кометы в экваториальной системе координат.

Мы рассмотрели сферический треугольник “положение кометы – Полюса Мира – Солнце”. Нашли формулу для угла отклонения хвоста кометы от направления солнечного ветра. Для даты 26.08.1985 получено значение тангенса позиционного угла $\tan\delta = -6,7125$. Это означает, что хвост кометы, видимый на фотопластинках, отклонен на значительное расстояние от прямой комета – Солнце и является пылевым.

Планируется провести подобный анализ для других фотопластинок из архива.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИСТОЧНИКОВ ФОТОСФЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГЕЛИОСЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ М9.3 30 ИЮЛЯ 2011

В.С. Захарова¹, И.Н. Шарыкин²

¹ *Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

Работа посвящена исследованию динамики источников фотосферного излучения во время гелиосейсмически активной солнечной вспышки М9.3 GOES класса, произошедшей 30 июля 2011 г. Данное событие примечательно тем, что является одним из самых импульсных в 24 цикле солнечной активности, при этом оно сопровождалось мощными гелиосейсмическими возмущениями («солнцетрясениями»). В работе [1] было показано, что вспышки с фотосферными возмущениями являются наиболее импульсными (быстрыми) с точки зрения энерговыделения. Целью представленной работы является установление связи наблюдаемого импульсного вспышечного энерговыделения, сопровождавшегося фотосферными и гелиосейсмическими возмущениями, с быстротой изменения пространственной структуры источников фотосферного излучения. Для решения поставленной задачи проводится анализ фильтрограмм (level-1 data) прибора Helioseismic Magnetic Imager на борту космического аппарата Solar Dynamics Observatory. Анализ фильтрограмм, в отличие от стандартных данных HMI/SDO, позволяет исследовать энерговыделение солнечных вспышек на уровне фотосферы с очень высоким временным разрешением 1.9 с. (против 45 с. для стандартных HMI-карт). По полученным картам фотосферных источников излучения определяется месторасположение области первоначального энерговыделения, оцениваются характерные скорости перемещения источников и изменения их площади.

Литература

1. Sharykin I.N. & Kosovichev A.G. Sunquakes of 24th solar cycle // arXiv:1911.04197, 2019

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

А.А. Карташева, Г.Г. Дольников, А.С. Бычкова,
И.А. Шашкова, И.А. Кузнецов, А.Н. Ляш, А.Е. Дубов,
В.А. Грушин, С.И. Попель, А.В. Захаров
Институт космических исследований РАН

Лунная экзосфера - пример плазменно-пылевой системы в природе. На освещенной части лунной поверхности фотоэмиссия является доминирующим током, и поверхность приобретает положительный потенциал. Значение потенциала, рассчитанное в [1] на основе теории бесстолкновительного электростатического зонда, составило +10 В. Влияние солнечного ветра на распределение потенциала вблизи поверхности были исследовано в [2]. Впервые потенциал Луны был измерен с помощью прибора Apollo Suprathermal Ion Detector, и имел величину порядка 10 В [3].

Левитирующие восходящие потоки заряженных пылевых частиц из приповерхностной зоны Луны были впервые обнаружены благодаря снимкам телекамер Surveyor после захода Солнца за лунный горизонт [4]. Современные измерения демонстрируют существование пылевых частиц на высотах от 30 до 110 км.

Лунная экзосфера является одним из объектов исследования будущих российских лунных миссий: Луна - 25 и Луна - 27. Прибор PmL, созданный как для регистрации частиц пыли, так и для измерения характеристик плазмы окружающей среды, впервые размещен на посадочной платформе лунных аппаратов. В работе представлено краткое описание функциональных особенностей этого прибора и приведены результаты калибровочных испытаний. Проведены результаты исследований параметров пылевой плазмы вблизи места посадки будущих лунных миссий. Поверхностный потенциал Луны был рассчитан для различных значений зенитного угла Солнца на основе теории электростатических зондов. Получены зависимости длины Дебая и напряженности электрического поля от зенитного угла Солнца. Рассмотрено распределение частиц пыли на различных высотах над поверхностью Луны.

Литература

1. Manka R.H. // Photon and particle interactions with surfaces in space (Boston: D. Reidel Publishing Company) 1973. P. 347–61.
2. Буринская Т.М. // Физика плазмы, 2014, том 40, № 1, с. 17–23
3. Freeman J.W., Ibrahim M. // Moon 1975. V. 14 P. 103–114.
4. Rennilson J.J., Criswell D. R. // The Moon 1974. V. 10. P. 121–42.

ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ КРУПНОМАСШТАБНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ГЕЛИОСФЕРЕ

Р.А. Кислов

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Институт Земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН*

Солнечный ветер может рассматриваться как идеально проводящая среда. Поэтому крупномасштабное электрическое поле (ЭП) в гелиосфере определяется по величине компонент скорости солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП) при помощи уравнения в замороженности. Из него следует, что силовые линии ММП являются эквипотенциальными. В докладе показано, что электрический потенциал в полярной гелиосфере может не поддерживаться постоянным вдоль линий магнитного поля только за счёт наблюдаемых величин скорости солнечного ветра, ММП и вращения Солнца. Как следствие, возникает необходимость в дополнительных источниках электрического потенциала (и электрического поля). Приводятся оценки величины ЭП, которое может обеспечиваться различными источниками.

ВОЗМОЖНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЭМИССИИ НАД МАГНИТНЫМИ АНОМАЛИЯМИ МАРСА

С.В. Куликов¹, С.И. Климов¹, С.П. Савин¹,
В.А. Стяжкин², А.А. Скальский¹, О. Сантолик³,
Е. Соколова⁴, И. Колмашова³

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн имени Н. В. Пушкова РАН*

³ *International Astronautical Federation*

⁴ *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

В связи с предстоящей миссией на Марс в рамках проекта ЭкзоМарс 2020 было проведено дополнительное изучение данных с приборов PWS и MAGMA, установленных на борту аппарата Фобос-2. Анализ показал наличие эмиссий, возникающих предположительно в ионосфере Марса. Данные с магнитометра, установленного на аппарате MAVEN, позволили найти возможную связь между местами возникновения некоторых из этих эмиссий с очагами аномальной намагниченности, однако малое количество подобных событий не позволяет утверждать наверняка. Дальнейшее изучение магнитосферы и ионосферы Марса с посадочной платформы может пролить свет на данные наблюдения.

ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ АНИЗОТРОПИИ И ИХ СВЯЗЬ С ВОЛНОВОЙ АКТИВНОСТЬЮ В ОБЛАСТИ ТОРМОЖЕНИЯ БЫСТРЫХ ПОТОКОВ В БЛИЖНЕМ ГЕОМАГНИТНОМ ХВОСТЕ. НАБЛЮДЕНИЯ MMS

А.Ю. Малыхин¹, Е.Е. Григоренко¹, Д.Р. Шкляр¹,
Е.В. Панов²

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Институт космических исследований
Австрийской академии наук*

Используя данные эксперимента Fast Plasma Investigation (FPI) на борту Magnetospheric Multiscale Mission (MMS), полученные с беспрецедентно высоким временным разрешением (0,03 с), выполнен анализ 3D функций распределения электронов в диапазоне энергий от 10 эВ до 30 кэВ во время продолжительных диполизаций в ближнем геомагнитном хвосте ($-17RE \leq XGSM \leq -8RE$). В предыдущих космических экспериментах измерения с таким временным разрешением были недоступны. Таким образом, наблюдения MMS дают возможность исследовать динамику анизотропии функций распределения электронов на временных масштабах порядка нескольких секунд, характерных для всплесков свистовых мод, которые часто наблюдаются во время диполизаций. Для данного исследования было выделено 48 продолжительных диполизаций (длительностью более 5 мин), зарегистрированных с мая по сентябрь 2017 г., когда MMS находился в ближнем геомагнитном хвосте.

Используя наблюдения эксперимента FIELDS, были идентифицированы интервалы времени, в которых наблюдаются квазипараллельные свистовые моды в диапазоне частот от 0.01 до ~ 1 f/fce (fce – электронная циклотронная частота). Методом наложения эпох показано, что существует 2 группы свистовых мод, первая из которых наблюдается непосредственно после фазы быстрого роста Vz компоненты магнитного поля (~ 80 с после начала диполизации), а вторая группа наблюдается на фазе релаксации Vz компоненты (спустя ~ 6 мин. после начала диполизации). Статистически показано, что мощность магнитных флуктуаций свистовых мод возрастает при приближении к нейтральной плоскости токового слоя. Исходя из дисперсионного уравнения для квазипараллельных свистовых волн, была оценена энергия резонансных электронов, которая для большинства событий находится в диапазоне от ~ 10 кэВ до ~ 160 кэВ.

Исследование функций распределения электронов во время наблюдения квазипараллельных свистовых мод показало что:

- 1) анизотропия температур электронов, $T_{per}/T_{par} \neq 1$, наблюдается в ограниченной части энергетического спектра, что нельзя объяснить только адиабатическими механизмами (бетатронным или Ферми механизмами) и нужно до дополнительно рассматривать возможность резонансного взаимодействия электронов с волнами.

2) во время наблюдения квазипараллельных свистовых мод, для которых резонансная энергия электронов находится в энергетическом диапазоне измерений FPI, имело место возрастание перпендикулярной анизотропии ($T_{per}/T_{par} > 1$), что свидетельствует о том, что генерация волн может быть связана с анизотропной неустойчивостью. Для таких событий получены оценки инкрементов свистовых волн и исследована динамика анизотропии функции распределения электронов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-32-90009 и гранта РФФИ № 19-02-00179.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПЛОТНОСТИ ФОТОСФЕРНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ РЕАЛЬНЫХ И МОДЕЛЬНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА

А.Б. Нечаева^{1,2}, И.В. Зимовец¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет Московский физико-технический институт*

В активных областях (АО) Солнца текут электрические токи. Информация о распределении плотности токов важна для понимания процессов энерговыделения на поверхности Солнца и в вышележащих слоях. В докладе представлено исследование функции плотности вероятности абсолютного значения плотности фотосферных вертикальных электрических токов $PDF(|j_z|)$ в 48 АО с 2010 по 2015 гг. [1]. Вычисление $|j_z|$ выполнено посредством применения дифференциальной и интегральной формы теоремы о циркуляции магнитного поля (закона Ампера) к фотосферным векторным магнитограммам, полученным по данным наблюдений инструмента Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) на борту космического аппарата Solar Dynamics Observatory (SDO). Результат вычисления токов двумя способами практически одинаков, хотя для интегральной формы уровень шума ниже. Для исследованных АО $PDF(|j_z|)$, в первом приближении, может быть аппроксимирована сложной функцией Гаусса в области низких значений ($|j_z| < (9.1 \pm 2.6) \cdot 10^3$ статампер/см²) и спадающей степенной функцией в области более высоких значений. Первой итерацией была проведена аппроксимация функции распределения с помощью нелинейной регрессии во всей АО, второй итерацией – в локальной вспышечной области повышенных значений токов $|j_z|$ внутри АО.

Дополнительно были получены и исследованы $PDF(|j_z|)$ для модельной АО со вспышками, рассчитанной численно с помощью кодов радиационной магнитной гидродинамики MURaM [2, 3]. Показано, что $PDF(|j_z|)$ модельной АО имеют схожую форму с $PDF(|j_z|)$ реальных АО и в первом приближении могут быть описаны сложной гауссианой в области низких значений и спадающей степенной функцией в области высоких значений.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-72-20134).

Литература

1. Zimovets I.V., Sharykin I.N., Gan W.Q. // *Astrophys. J.* (accepted, 2020)
2. Rempel M. // *Astrophys J.* 2017, 834:10 (23pp)
3. Chen F., et al. // *Astrophys. J.* (in preparation)

ФОРМИРОВАНИЕ ТОКОВЫХ СЛОЕВ И ПЛАЗМОИДОВ ВНУТРИ ПОТОКОВ ИЗ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР И В ОБЛАСТЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАЗНОСКОРОСТНОГО СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Т.М. Сагитов¹, Р.А. Кислов^{2,3}, О.В. Хабарова²

¹ *Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики*

² *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН*

³ *Институт космических исследований РАН*

Высокоскоростные потоки из корональных дыр являются долгоживущими плазменными образованиями, формирующими в гелиосфере так называемые области коротации и взаимодействия солнечного ветра с разными скоростями. В научной литературе принято называть эти области corotating interaction regions (CIRs для потоков со временем жизни как минимум оборот Солнца) или stream interface regions (SIRs в случае относительно короткоживущих потоков). Поскольку истечение вещества из корональных дыр происходит квази-непрерывно, потоки CIRs/SIRs одновременно и расширяются, и вращаются вокруг Солнца в солнечном ветре, приблизительно следуя форме Паркеровской спирали до орбиты Земли. В работе исследуются характеристики вращения и внутренняя структура CIRs/SIRs.

Представлены качественные оценки возможных механизмов расслоения границ CIRs/SIRs и формирования токовых слоев внутри этих потоков. Есть основания считать, что потоки из корональных дыр вращаются не только вокруг общей с Солнцем оси, но и вокруг собственной, наподобие винта. Последний эффект может возникать по нескольким причинам: 1) из-за разности скоростей солнечного ветра по разные стороны от потока; 2) из-за закручивания магнитного поля, в которое вморожена плазма; 3) из-за того, что в области источника на Солнце изначально может существовать вихреобразное течение. Вращение CIR/SIR может приводить к центробежной неустойчивости в случае, если его внутренние слои имеют большую угловую скорость, чем внешние. Кроме этого, вращательное движение плазмы и деформация потока могут закручивать линии магнитного поля, что способствует pinch-эффекту в согласии с известным критерием неустойчивости Сайдема. Из-за наличия цилиндрического токового слоя на границе корональной дыры, также возможны условия для тиринг-неустойчивости на границе CIR/SIR. Вне зависимости от геометрии, крупномасштабные токовые слои подвержены неустойчивости, генерирующей плазмоиды. Все перечисленные эффекты могут приводить к формированию турбулентной зоны с внутренней стороны границы CIR/SIR. В работе проводится анализ наблюдений токовых слоев и плазмоидов, ассоциирующихся с приходом этих потоков к орбите Земли.

ИССЛЕДОВАНИЕ УФ СВЕЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ ДЕТЕКТОРА «ТУС» НА БОРТУ СПУТНИКА «ЛОМОНОСОВ»

К.Ф. Сигаева, П.А. Климов

НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ

Детектор «Трековая УСтановка» («ТУС») запущен на борту спутника «Ломоносов» 28 апреля 2016 года на солнечно-синхронную орбиту с высотой около 500 км и наклоном 97.6°, что позволяет проводить измерения вплоть до самых высоких широт на теневой стороне орбиты. Срок активного существования аппарата на орбите составил около полутора лет. Детектор «ТУС» предназначен для регистрации космических лучей предельно высоких энергий (КЛ ПВЭ, с энергиями около 1020 эВ), а также для измерения УФ-свечения атмосферы в диапазоне длин волн 300–400 нм, и представляет собой телескоп-рефлектор с большой апертурой. Одной из составляющих детектора является зеркало-концентратор френелевского типа, площадью 2 м², а второй – фотоприемник, состоящий из 256 пикселей (пикселями фотоприемника являются 256 фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) Hamamatsu R1463), находящийся в фокальной плоскости зеркала (фокусное расстояние составляет 1.5 метра). Угловое разрешение детектора 10 мрад, что соответствует квадрату 5 x 5 км на поверхности Земли, а общее поле зрения 6400 км². Электроника, которой оснащен детектор, работает в четырех режимах, предназначенных для регистрации оптических явлений в атмосфере с разным временным разрешением (0.8 мкс, 25.6 мкс, 0.4 мс и 6.6 мс).

В ходе эксперимента на орбите была разработана методика полетной калибровки прибора по флуктуациям шумового сигнала, позволяющая контролировать абсолютную чувствительность телескопа. В данной работе представлена методика, ее наземная отработка и результат применения к расчету интенсивности УФ свечения транзитных явлений измеренных детектором.

Также в работе приводятся результаты анализа УФ свечения в полярных областях северного полушария (более 60° С.Ш.), проводимых в режиме с временным разрешением 6.6 мс и длительностью развертки 1.7 с. В ходе анализа были выделены события, в которых наблюдаются пространственно-временные структуры. Часть из них связаны с антропогенными факторами (свечение городов) и облачностью в поле зрения прибора, которые определяются по характерной скорости перемещения сигнала, связанной с движением космического аппарата. Другие имеют геофизическую природу. Для них проведен анализ расположения событий относительно аврорального овала, особенностей пространственно-временных структур в зависимости от геомагнитной обстановки, а также характерных пространственных и временных масштабов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

А.А. Синевич^{1,2}, А.А. Чернышов¹, Д.В. Чугунин¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет
Высшая школа экономики*

Субавроральная область ионосферы на сегодняшний день является актуальным предметом исследования, так как многие явления, происходящие в ней, изучены не до конца. Одно из таких явлений - поляризационный джет. Поляризационный джет - узкая струя быстрых ионных дрейфов к западу вблизи проекции плазмопаузы на высотах верхней области ионосферы F-слоя, возникающая во время повышенной геомагнитной активности. Механизм формирования поляризационного джета, а также структура мелкомасштабных неоднородностей параметров ионосферы внутри него являются открытыми вопросами. Для исследования мелкомасштабных неоднородностей плотности плазмы необходимы приборы, измеряющие плазменные характеристики с высокой частотой. До недавнего времени средняя частота измерений приборов на спутниках составляла 2 – 5 Гц, пока не был запущен спутник NorSat¹, оборудованный 4 зондами Ленгмюра и способный измерять параметры ионосферы с частотой до 1 кГц. Представленная работа заключается в исследовании мелкомасштабных неоднородностей поляризационного джета с использованием спутниковых данных.

ПОВЕДЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ИОНОВ ГЕЛИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ШКАЛ

А.А. Хохлачев^{1,2}, И.Г. Лодкина¹, М.О. Рязанцева¹,
Ю.И. Ермолаев¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский физико-технический институт*

В работе выполнен анализ поведения двукратно ионизованных ионов гелия (альфа-частиц) в диапазоне шкал от нескольких секунд до солнечного цикла. Приводятся результаты статистической обработки свойств крупномасштабных явлений солнечного ветра на основе базы данных OMNI и каталога таких явлений (см.сайт <ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/> [1]) за период 1976-2018г. Каталог включает в себя 3 типа квази-стационарных явлений: гелиосферный токовый слой (HCS), высокоскоростные потоки из корональных дыр (HSS) и медленные потоки из корональных стримеров, и 5 возмущенных типов СВ: области сжатия перед быстрыми потоками HSS (CIR), межпланетные проявления выброса корональной массы (ICME), которые могут включать в себя магнитные облака (MC) и Ejecta с областями сжатия Sheath (SHEMC и SHEEJ, соответственно), предшествующие им. Проведен анализ поведения различных параметров плазмы и магнитного поля в отобранных типах СВ за все время наблюдений и их сравнение между 21 – 24 циклами солнечной активности. Анализ показывает, что последний цикл слабее предыдущих: в нем реже наблюдаются возмущенные типы ветра, а также ряд параметров имеют значения ниже, чем в предыдущих циклах. Также в работе приводятся результаты анализа быстрых вариаций плотности протонов и дважды ионизованных ионов гелия, а также их отношения внутри различных крупномасштабных течений солнечного ветра по измерениям прибора БМСВ в проекте СПЕКТР-Р. Проведен анализ уровня корреляции между измерениями указанных параметров по данным двух разнесенных в пространстве КА: Спектр – Р и Wind.

Построены зависимости уровня корреляции от параметров солнечного ветра и типа крупномасштабного течения. Выявлены случаи локальных мелкомасштабных плазменных неоднородностей.

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант 16-12-10062.

Литература

1. Ермолаев Ю.И., Николаева Н.С., Лодкина И.Г., Ермолаев М.Ю. крупномасштабных явлений солнечного ветра для периода 1976–2000 гг. Космич. исслед., 2009 Т. 47 № 2 С. 99–113. (Cosmic Research p. 81-94)<https://doi.org/10.1134/S0010952509020014>

VI ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖГОДОВОЙ, СЕЗОННОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ЦВЕТЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В РЫБИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Е.А. Аглова

Московский физико-технический институт

Были проведены наблюдения за «цветением» фитопланктона и проанализированы спутниковые изображения видимого диапазона (OLT Landsat - 8, MSI sentinel - 2) акватории Рыбинского водохранилища – самом большом водохранилище на реке Волга, за 2013-2019 года. «Цветением» воды считают массовое развитие одного или 2-3 планктонных видов, сопровождающиеся значительным ухудшением качества воды. Для данного водоема характерны следующие виды фитопланктона: зеленые водоросли, цианобактерии и диатомовые водоросли. В зависимости от типа фитопланктона вода приобретает различную окраску, она может быть от сине-зеленого, ярко-зеленого, серого до желто-зеленого, каштанового или ярко-красного, кирпично-красного и красно-бурого и коричневого цвета. Каждый год имеет 3 пика цветения по биомассе: весна (май), лето (конец июля - август) и осень (сентябрь и, реже, октябрь), которые и были нами проанализированы.

Методы спутникового мониторинга позволяют только качественно наблюдать за картиной интенсивности «цветения» Рыбинского водохранилища в мало облачные и безоблачные дни. Однако проявления интенсивности цветения на спутниковых изображениях видимого диапазона различались как по годам, так и по локализации.

Обнаружено, что весной 2013-2019гг. наблюдался пик «цветения» диатомовых водорослей, обычно на всей площади водоёма, причем интенсивность была самой высокой в 2013г. и 2018г. Летом наблюдалось цветение 2х типов водорослей: сине-зеленых (по всей поверхности) и диатомовых (преимущественно на юге водохранилища). Самая высокая интенсивность наблюдалась в 2015г. и 2018г. Осенью же происходит цветение сине-зеленых водорослей (на всей площади) и, реже, диатомовых. Пики интенсивности приходятся на 2013, 2015 и 2018 года.

СОЗДАНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ УЗЛОВ ДОСТУПА К ДАННЫМ ДЗЗ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

И.В. Балашов, И.Г. Сычугов, А.А. Прошин
Институт космических исследований РАН

В настоящее время в ИКИ РАН создано и эксплуатируется большое количество информационных сервисов, обеспечивающих работу с данными ДЗЗ. Сервисы обеспечивают данными не только проведение научных исследований различными коллективами и институтами, но и решение прикладных задач на регулярной основе, таких как мониторинг пожаров и угроз, возникающих от них, мониторинг пепловых выбросов вулканов и другие. Отказы в работоспособности сервисов при решении таких задач могут привести к крайне негативным последствиям. Задача обеспечения отказоустойчивости разрабатываемых сервисов является в настоящее время одной из приоритетных при разработке отдельных сервисов спутникового мониторинга.

В настоящем докладе приводится обзор основных и наиболее часто встречающихся нештатных ситуаций на вычислительных узлах, поддерживающих работоспособность сервисов доступа к данным ДЗЗ. Предлагаются средства обеспечения отказоустойчивости при наступлении таких ситуаций. Обсуждаются особенности настройки и применения предложенных программных и аппаратных средств, а так же, схема их развертывания при создании отказоустойчивых узлов.

В заключение доклада приводится описание архитектуры и основных элементов отказоустойчивого узла доступа к данным ДЗЗ, развернутого в ходе реализации проекта ЕГХ ПД в интересах ОАО «РЖД»

СРАВНЕНИЕ ВЫГОРЕВШИХ ПЛОЩАДЕЙ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ ПО МАТЕРИАЛАМ ВИЗУАЛЬНОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ И ДАННЫМ MCD64A1

А.Н. Берденгалиева¹, С.С. Шинкаренко^{1,2}

¹ *Волгоградский государственный университет*

² *Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН*

Проблема идентификации выгоревших площадей достаточно актуальна. Объективное определение гарей позволяет изучать изменения в ландшафтах, вызванных пожарами, определять ущерб, планировать противопожарные мероприятия. Известно, что в степных ландшафтах существующие информационные продукты выгоревших площадей недооценивают их величину до 40%. Целью данного исследования является сравнение существующих данных о выгоревших площадях MCD64A1c результатами визуального дешифрирования гарей в условиях аридных речных пойм на примере северной части Волго-Ахтубинского междуречья.

Пожары в исследуемом регионе отличаются небольшой площадью в силу особенностей рельефа и развитой гидрографической сети. Более 80% пожаров происходит в марте и апреле. В это время мало безоблачных снимков, кроме того, половодье в мае заливает гари, и определить их после этого невозможно. Визуальное дешифрирование возможно по данным высокого разрешения Landsat и Sentinel при наличии полевых эталонов выгоревших площадей. Из-за сложностей экспертного определения гарей привлекательным выглядит использование информационных продуктов с контурами выгоревших участков, пусть и значительно меньшего разрешения.

При визуальном дешифрировании данные FIRMS, FireCCI, MCD64A1 использовались для верификации. Определены гари за 2001-2018 гг. Общая точность дешифрирования согласно матрице ошибок на основе кросс-табуляции по всем продуктам составила 93%. В большей степени высокая точность обеспечена правильным определением невыгоревших площадей. Только данные MCD64A1 включают 25% выгоревших площадей, 70% гарей – определены только по визуальному дешифрированию и 5% площадей определены как при дешифрировании, так и по данным MODIS.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 18-45-343002.

МЕТОД ОЦЕНКИ ПРОДУКТИВНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГОСЯ ЛЕСНОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЗЗ И МОДЕЛЕЙ ХОДА РОСТА ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

М.А. Богодухов^{1,2,3}, С.А. Барталев^{1,2}, В.О. Жарко¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН*

³ *Национальный исследовательский университет
Московский физико-технический институт*

В работе представлен метод оценки продуктивности лесного покрова, восстанавливающегося после деструктивного воздействия, которое привело к его исчезновению, при условии известной датировки воздействия.

В рамках предлагаемого метода используются данные проекта Global Forest Change (Hansen et al., 2013), характеризующие пространственное распределение участков исчезновения лесного покрова, включая информацию о его дате, по данным Landsat с разрешением 30 м. Совместный анализ указанных данных с информацией о типе лесного покрова, приведённых к сопоставимому пространственному разрешению, позволяет определять участки восстанавливающегося лесного покрова и его тип. На основе полученной информации выбирается соответствующая модель хода роста лесных насаждений (Швиденко и др., 2008), которая используется для моделирования динамики характеристик лесов различных классов продуктивности (бонитета). Заключительный этап работы метода включает оценку класса бонитета восстанавливающегося лесного покрова на основе сопоставления данных существующих геоинформационных продуктов, отражающих характеристики лесов, и результатов моделирования соответствующих характеристик лесных насаждений для значений возраста, рассчитываемых как интервал между годом исчезновения лесного покрова и годом, для которого актуален используемый продукт. Рассматриваемому участку лесного покрова ставится в соответствие тот класс бонитета, результаты моделирования для которого наилучшим образом согласуются с данными существующих продуктов.

Возможность использования описанного метода для оценки продуктивности восстанавливающегося лесного покрова на территории Европейской части РФ была исследована с использованием данных продукта измерений высоты растительности ATL08 (Neuenschwander et al., 2019; размер футпринта 14 м, 2018-2020 год) прибором ATLAS, установленным на спутнике ICESat-2.

Данный метод был апробирован для различных типов лесного покрова на уровне пространственного разрешения 30 м. Исследование показало, что оценка классов бонитета восстанавливающихся лиственных пород соответствует предлагаемому моделям хода роста лесных насаждений на территории Европейской части РФ.

Дальнейшие направления исследований включают в себя фильтрацию данных продукта ATL08 на основе вспомогательных статистических характеристик с последующей валидацией получаемых оценок и ре-

лизацией представленного метода в масштабах всей территории РФ с использованием данных ATL08 и данных Global Forest Change исходного пространственного разрешения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-77-30015). Обработка и анализ данных выполнялись с использованием ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019).

Литература

1. Егоров В.А., Барталев С.А., Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А. Карта растительного покрова России, полученная по данным спутниковой системы Proba-V // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 282-286. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-282-286.
2. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С.151-170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
3. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильссон С., Булуй Ю.И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии. М., 2008. 886 с.
4. Hansen M., Potapov P., Moore R., Hancher M., Turubanova S., Tyukavina A., Thau D., Stehman S., Goetz S., Loveland T., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C. Townshend J. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. Vol. 342. Iss. 6160, pp. 850–853.
5. Neuenschwander A.L., S.C. Popescu, R.F. Nelson, D. Harding, K.L. Pitts, J. Robbins. ATLAS/ICESat-2 L3A Land and Vegetation Height, Version 1. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. 2019. doi: 10.5067/ATLAS/ATL08.001.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕПЛОВЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ШЛЕЙФОВ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

А.А. Бриль, А.В. Кашницкий, А.М. Константинова, Е.А. Лупян

Институт космических исследований РАН

Выброшенные в атмосферу в результате эксплозивных извержений вулканов облака пепла представляют большую опасность для авиации и населения. Поэтому задачи своевременного обнаружения, прогноза распространения и комплексного анализа облаков вулканического пепла являются одними из важнейших для мониторинга вулканов. Основной областью интереса авторов данной работы являются эксплозивные извержения вулканов Курило-Камчатского региона. В этом регионе расположены более тридцати активных вулканов и из них до шести извергаются ежегодно, выбрасывая в атмосферу пепловые облака. Учитывая удаленность большинства из вулканов, а также тот факт, что выброшенные пепловые облака распространяются на сотни километров, практически единственным возможным инструментом их контроля и изучения являются спутниковые данные.

Данная работа посвящена рассмотрению основных имеющихся возможностей анализа параметров пепловых вулканических шлейфов с использованием спутниковым данных, а именно:

- возможностям детектирования пеплового шлейфа;
- возможностям определения границ его распространения (включая отслеживание на сериях разновременных данных);
- возможностям определения параметров пеплового шлейфа, включая высоту верхней
- границы, массу выброшенного пепла и распределение его концентрации.

В работе сделан краткий обзор разработанных различными исследователями методов детектирования, определения границ и параметров шлейфов по спутниковым данным. Особое внимание уделено методам и технологиям, реализованным авторами для мониторинга и изучения пепловых вулканических шлейфов Курило-Камчатского региона. В том числе рассмотрены возможности, внедренные авторами в информационную систему мониторинга вулканов «VolSatView». В докладе также приводятся примеры отдельных ярких эксплозивных событий на вулканах Камчатки и результатах мониторинга распространения и изучения по спутниковым данным выброшенных в этих событиях пепловых шлейфов.

ПОСТРОЕНИЕ НАБОРА ОПОРНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСА СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ TERRA-MODIS

И.И. Ворушилов^{1,2}, С.А. Барталев^{1,2}, В.А. Егоров¹, В.О. Жарко¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН*

Ключевые слова: ДЗЗ, оценка запаса стволовой древесины, картографирование.

Лес — это ценный природный ресурс и экологический фактор, играющий важную роль в биохимических и биофизических процессах в наземных экосистемах, атмосфере и гидросфере Земли. Одной из ключевых характеристик лесов является запас стволовой древесины. В настоящее время актуальна задача оценки лесных ресурсов на продолжительном интервале времени.

В настоящее время накоплены долговременные ряды спутниковых наблюдений территории России прибором Terra-MODIS, которые регулярно обновляются и пополняются. Основываясь на эти данные можно реализовать метод оценки динамики запаса стволовой древесины. В то же время практически отсутствует однородный по точности и временной оценке набор опорных данных, характеризующий величину запаса. В данной работе в качестве начальной опорной выборки был использован продукт GlobBiomass (GBM) с пространственным разрешением 100 м.

Исследование направлено на построение опорной выборки для задачи оценки запаса стволовой древесины с использованием временных данных Terra-MODIS на основе зимних композитных изображений покрытого снегом земного покрова, разработанных в ИКИ РАН. Для учета изменчивости характеристик лесов была использована карта породного состава лесов (Барталев и др., 2016). Продукт GBM по состоянию на 2010 год был сопоставлен с безоблачными композитными изображениями земной поверхности с наличием снега, полученным по данным MODIS пространственного разрешения 230 м. В результате была построена регулярная сеть с заданными в ее узлах табулированными зависимостями между диапазонами величин запасов и яркостными характеристиками земного покрова. При этом особое внимание было уделено снижению влияния изменений яркостных характеристик между данными наблюдений различных лет.

Исследование выполнено в рамках гранта РНФ 019-77-30015 — разработка методов и технологии комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для развития системы национального мониторинга бюджета углерода лесов России в условиях глобальных изменений климата.

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.

2. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208с.
3. ESA DUE Globbiomass project (<https://globbiomass.org/>)

ВОЗМОЖНОСТИ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА РАЗВИТИЯ ПОСЕВОВ САХАРНОГО ТРОСТНИКА В ЮЖНОЙ ИНДИИ

Е.С. Ёлкина, С.А. Барталев, Д.Е. Плотников, Е.В. Самофал
Институт космических исследований РАН

В работе представлены результаты исследования возможностей картографирования сахарного тростника по спутниковым данным с использованием непараметрических классификаторов. Проведена оценка информативных признаков, определен наиболее оптимальный период выбора сцен для картографирования тростника на территории Южной Индии, оценена точность и источники ошибок. Представлены варианты использования получаемых карт и иных спутниковых продуктов, доступных в сервисе VEGA-GEOGLAM, для осуществления мониторинга самой ценной для исследуемого региона сельскохозяйственной культуры.

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).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ПОДСПУТНИКОВЫХ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Н.А. Князев

¹ *Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

² *Институт космических исследований РАН*

Ежегодно Институтом космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) проводятся натурные измерения гидрофизических характеристик прибрежных морских вод синхронно со спутниковой съемкой. Приборная база контактных измерений состоит из комплекса специализированного океанологического оборудования; одним из используемых приборов является STD-профилограф с установленными дополнительно датчиками мутности и флуориметром. Во время измерений с помощью STD-профилографа на выходе формируется файл, с возможностью экспорта данных в табличный формат. В таблицах содержатся данные со следующими параметрами: время и дата измерения, электропроводность, температура, соленость, мутность, концентрации хлорофилла-А, давление в толще воды, уровень глубины измерения, скорость звука. Частота измерения в толще воды составляет порядка 5-6 измерений в секунду, а одно погружение от поверхности до дна и обратно дает порядка 1500 измерений. В течение одного дня работы в море формируется огромный массив данных. Для обработки первичных данных была написана программа, которая производит сортировку массива результатов измерений по требуемым пользователем параметрам. На выходе такой обработки формируется отдельный файл с указанием номера станции, ее географических координат, а также совокупность отфильтрованных данных на участке поднятия зонда со дна моря.

Экспедиционные работы проводятся сотрудниками ИКИ РАН, начиная с 2012 года. С каждым годом количество массив данных неукоснительно растет. Отсутствие организованной структуры хранения данных повлекло за собой необходимость создания единого хранилища, содержащего в себе данные экспедиций за 2012-2019 с возможностью добавления новых данных будущих экспедиций. Для этого был спроектирован и разработан Web-сервис по хранению первичных и обработанных данных. Основное назначение создаваемой системы – предоставить пользователю возможность загружать и скачивать данные по выбранным им фильтрам: по конкретной экспедиции, по дате, по оборудованию (в частности, STD-данные). С этой целью в системе была спроектирована база данных сервиса, а также написана программа-импортер для STD-данных. Более того, в сервисе реализован картографический интерфейс для работы с выбранными данными, а также внедрены функции статистического анализа с возможностью построения графиков и диаграмм.

На сегодняшний день в рамках Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» функционирует информационная система «See the Sea» (STS), ориентированная на работу с данными спутниковых наблюдений для решения задач исследования Мирового океана. Второй ключевой задачей представляемого проекта является создание «технического моста» между искомым Web-сервисом и STS. Данные, хранящиеся

в базе данных сервиса, поставляются в систему STS с целью отображения на существующем картографическом интерфейсе полной картины проведенных подспутниковых измерений. Данные, полученные путем STD-зондирований, будут отображаться на картах систем спутникового мониторинга, тем самым упрощая задачу верификации спутниковых данных и сравнение результатов с натурными измерениями.

Работа проводится в рамках подготовки магистерской диссертаций на факультете космических исследований МГУ имени М.В. Ломоносова и темы «Мониторинг», (госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Е.В. Козинская

*Факультет радиофизики и компьютерных технологий
БГУ, Минск, Беларусь*

Уже несколько десятилетий учёные бьют тревогу по поводу приближающейся экологической катастрофы. С каждым годом проблема загрязнения окружающей среды становится всё более актуальной из-за роста количества выбросов в атмосферу токсичных паров, твёрдых частиц и излучения. Это приводит к глобальным изменениям климата, что негативно влияет на биосферу. С помощью беспилотных летательных аппаратов (дронов) отслеживать состояние окружающей среды становится простым и доступным в масштабах города и страны.

Для проекта мониторинга состояния окружающей среды был выбран беспилотный летательный аппарат вертолётного типа многороторной системы компании DJI Phantom 4 Advanced. Это достаточно бюджетный вариант среди дронов с хорошими характеристиками. Он оснащён камерой отличного качества и широким набором режимов управления. Кроме того дрон способен поднимать в воздух дополнительную полезную нагрузку. В качестве полезной нагрузки для проекта был разработан модуль мониторинга состояния окружающей среды. Специальная схема крепления позволила равномерно распределить массу модуля не изменяя положение центра масс системы. Управление модулем мониторинга состояния окружающей среды системой осуществлял микроконтроллер Arduino UNO с открытым исходным кодом. В состав разработанного модуля входят датчики мониторинга состояния окружающей среды: влажности, температуры, освещённости, ультрафиолетовых лучей, углекислого и угарного газов, пыли, вибраций, счётчик Гейгера. Этот набор позволяет исследовать степень загрязнения среды различного вида. Система работает автономно, записывает данные на SD карту памяти и передаёт их по радиоканалу на наземную станцию.

Модуль мониторинга состояния окружающей среды был протестирован в лаборатории. Телеметрия датчиков мониторинга передавалась на макет наземного комплекса приема (на основе ноутбука, приемопередатчика и программного обеспечения) следующими способами: с помощью технологии Bluetooth и по радиоканалу. Параллельно данные записывались на встроенную в модуль SD карту памяти. Были проведены полевые испытания, где модуль подтвердил свою эффективность.

Преимуществом данного модуля является то, что разработанная система мониторинга является бюджетным вариантом, использует коммерческие комплектующие и хорошие полётные характеристики дрона для исследования труднодоступных районов, что отличает ее от дорогих аналогичных систем. Ресурс дрона позволяют производить сбор информации автоматически, исследовать большие территории, получать оперативную и актуальную информацию о загрязнении окружающей среды.

МЕТОД ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ДОПРИВЯЗКИ ДАННЫХ И ВЫЯВЛЕНИЯ ОБЛАЧНОСТИ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ МСУ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА И ГРАДИЕНТА ЯРКОСТИ ОБЪЕКТОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

П.А. Колбудаев, Д.Е. Плотников, А.М. Матвеев, С.А. Барталев
Институт космических исследований РАН

Данные прибора МСУ, снимающего в зеленом, красном и ближнем ИК диапазонах длин волн, имеют пространственное разрешение от 60 до 100 метров и 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 представляется нетривиальной и не может быть решена классическими методами, используемыми для других приборов ДЗЗ.

Характерные особенности прибора МСУ, затрудняющие классическое детектирование облачности, могут включать значительные различия в геометрии наблюдений между зеленым, красным и БИК каналами (параллакс около 9°) и возникающую в результате разницу во времени наблюдения одного и того же участка поверхности (около 20 секунд между соседними каналами). После орторектификации и гармонизации разноспектральных изображений на уровне земной поверхности образы объектов облачного покрова оказываются разнесенными на мультисканальном изображении. В результате использование таких мультиспектральных индексов для выделения облачности как к примеру NDVI по аналогии с методом Fmask оказывается невозможно и дополнительно усугубляется отсутствием среднего инфракрасного канала.

В настоящей работе для географической допривязки данных и детектирования облачности на данных МСУ использовались данные MODIS и результаты анализа градиента яркости объектов, полученных путём вычисления среднего градиента яркости на разновременных изображениях Landsat, очищенных от влияния облачности и теней с помощью модифицированного метода Fmask (опорные границы) (Колбудаев и др., 2017). При этом картографическая проекция и пространственное разрешение данных Landsat приводились в соответствие с аналогичными характеристиками изображений МСУ. Идея использования данных MODIS для допривязки данных МСУ заключается в поиске наиболее оптимального локального смещения на основе поиска максимального значения корреляции между данными. При этом наблюдается взаимосвязь между наличием облачности и величиной максимального значения корреляции для каждой локальной области. Следующим этапом было выделение устойчивых границ объектов на текущем изображении МСУ на основе подсчета величины градиента яркости в каждом пикселе и выполнения локализованного анализа их соответствия опорным границам по данным Landsat с расчетом метрики, характеризующей совпадение. В основе метода детектирования облачности лежит использование локальных максимальных значений корреляции между данными

МСУ и MODIS. На основе этих локальных областей строятся гистограммы облачных и безоблачных участков и устанавливается адаптивный порог на выделение облачности.

Исследования выполнялись с использованием инфраструктуры Центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ЦКП "ИКИ-Мониторинг" для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды (Лулян и др., 2015)

Литература

1. Лулян 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. 247-267
2. Колбудаев П.А., Барталев С.А., Матвеев А.М., Плотников Д.Е., Егоров В.А. Технология обработки спутниковых данных Landsat-TM/ETM+/OLI-TIRS // XIV Конференция молодых ученых, посвященная дню космонавтики, "Фундаментальные и прикладные космические исследования", тезисы докладов, 12-14 апреля, 2017. С. 144.

ПОСТПОЖАРНЫЕ КАРТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ГОРЕНИЯ

Д.В. Лозин^{1,2}, И.В. Балашов²

¹ *Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

² *Институт космических исследований РАН*

Оценка интенсивности горения пожаров – одно из актуальных направлений применения данных многоспектральной спутниковой съемки. Такая информация важна при анализе площадей, поврежденных крупными лесными пожарами, при оценке уровня воздействия огня на растительность, при прогнозе постпожарного состояния или процессов лесовосстановления. Для анализа интегральной мощности теплоизлучения от пожаров растительности достаточно давно используются дистанционные данные, в частности, съемка аппаратурой Terra/MODIS, которой фиксируется радиояркостная температура поверхности в диапазоне 4 мкм. Соотношение, характеризующее связь между мощностью излучаемого теплового потока от пожара и радиояркостными температурами цели и фона на изображениях в диапазоне 4 мкм, было впервые предложено в работе Kaufman et al. и получило название FRP (Fire Radiative Power) (Kaufman et al., 1998, Justice et al., 2002). Однако, прямого сопоставления интенсивности горения с данными о повреждении лесного покрова, которые ежегодно формируются в ИКИ РАН (Барталев и др., 2015, Стыценко и др., 2013), до настоящего времени не проводилось. Для проведения такого анализа необходимо построение специальных карт, отображающих постпожарные данные об максимальной интенсивности горения.

Настоящий доклад посвящен задаче построения постпожарных карт распределений интенсивности горения на основе данных пожарной информационной системы FIRMS, содержащей информацию об FRP детектируемых горячих точек, для дальнейшего сопоставления с данными о повреждении лесов. В докладе приводятся основные решения, принятые при построении постпожарных карт распределения интенсивности на территории Российской Федерации по годам. Описывается методика сопоставления полученных карт с данными о типе территорий и повреждении лесов. Кроме этого, обсуждаются проблемы зависимости значения FRP от площади пикселя и формулируется подход для нормирования значения FRP для продукта MCD14DL коллекции 6 MODIS.

Работа выполнена в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164). При выполнении работы использовались возможности Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015)

Литература

1. Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Егоров В.А., Лупян Е.А. Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. 2015. № 2. С. 83-94.
2. Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А. Метод оценки степени повреждения лесов пожарами на основе спутниковых данных MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т.10. № 1. С. 254-266.
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.

ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИХ НИКЕЛЬ-ФОСФОРНЫХ ПОКРЫТИЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ РАССЕЯННОГО СВЕТОВОГО ФОНА

Д.В. Марусев

*АО «Научно-исследовательский институт
микроприборов-К»*

Совершенствование оптических систем наблюдения космических аппаратов (КА) связано с постоянно повышающимися требованиями к разрешающей способности и контрасту получаемого ими изображения. Одной из основных причин снижающей их выходные характеристики является рассеянный световой фон, который возникает при попадании во входной зрачок объектива излучения лежащего за пределами угла зрения оптики. Его переотражении от конструктивных элементов оптического тракта ухудшает отношение сигнал/шум аппаратуры и контраст формируемого изображения.

Для эффективного подавления рассеянного излучения совместно с существующими способами [1] применяется чернение (нанесение светопоглощающих покрытий) конструктивных деталей оптического тракта. На данный момент существует широкий спектр светопоглощающих покрытий, но не каждое из них обладает сверхпоглощающей способностью (коэффициент поглощения более 99%) [2]. Наиболее востребованным покрытием со сверхвысокими показателями поглощения в диапазоне длин волн от УФ до ИК является сплав NiP [3].

Актуальность исследования светопоглощающих покрытий на основе сплава NiP связана с отсутствием в нашей стране промышленного использования сверхпоглощающих материалов в оптоэлектронных системах КА для подавления рассеянного светового фона.

В докладе представлены результаты исследований оптико-физических свойств светопоглощающих никель-фосфорных покрытий, методика их изготовления и влияние внешне воздействующих факторов. Результаты исследований легли в основу создания промышленной технологии чернения.

Литература

1. Панов В.А., Кругер М.Я., Кулагин В.В. Справочник конструктора оптико-механических приборов – Л.: Машиностроение, 1980. с. 352.
2. Bass M., DeCusatis C., Enoch J., Lakshminarayanan V., Li G., MacDonald C., Mahajan V., Stryland E. V. Handbook of Optics. Volume IV: Optical Properties of Materials, Nonlinear Optics, Quantum Optics. New York, Mc Grow Hill. 2009. P. 6.49.
3. Saxena V., Uma Rani R., Sharma A.K. Studies on ultra high solar absorber black electroless nickel coatings on aluminum alloys for space application // J Appl Electrochem (2010) 40. P. 333 – 339.

БЛОК ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ ЗОНДИРОВЩИКОВ СПУТНИКОВ СЕРИИ МЕТЕОР-М И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭТИХ ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ

А.М. Матвеев, А.А. Мазуров, Е.В. Пашинов
Институт космических исследований РАН

В 2009 году был запущен российский спутник гидрометеорологического и океанографического назначения Метеор-М №1, первый из серии группировки спутников – преемников вышедшего из строя аппарата Метеор-3М. КА предназначены для получения информации о температуре морской и подстилающей поверхности, содержания и распределения озона в атмосфере, профилей температуры и влажности, радиационного баланса. В 2014 году был запущен Метеор-М №2-1, в 2019 Метеор №2-2, планируется запуск еще двух спутников в 2020 и 2021 гг.

Для обеспечения работы с данными приборов этих аппаратов в ИКИ РАН был разработан расширяемый модуль первичной обработки, который включает в себя операции распаковки, калибровки, геопривязки и построения обзорных снимков земной поверхности за выбранный период времени.

Важной частью научной аппаратуры КА Метеор – М является микроволновый радиометрический комплекс МТВЗА-ГЯ. Проводя радиотепловые измерения в 31 канале в диапазоне частот 6 -200 ГГц, данный комплекс позволяет получать ценную информацию о климатообразующих процессах, происходящих на планете. Радиотепловые измерения в микроволновом диапазоне не так сильно подвержены влиянию инсоляции и наличия облачности и позволяют исследовать внутреннюю термодинамическую структуру атмосферных процессов и характеристики поверхности.

На основе первичных данных МТВЗА-ГЯ, получаемых из отдела Технологий Спутникового Мониторинга ИКИ, сотрудниками отдела Исследований Земли из космоса были разработаны некоторые алгоритмы тематической обработки для получения термодинамических характеристик атмосферы. На основе данных МТВЗА-ГЯ КА Метеор-М №2-1 были составлены глобальные поля интегрального паросодержания атмосферы, поля вертикальных распределений температуры и влажности тропосферы на высотах от 0.5 до 7 км, за двухлетний период 2015-16 г. Эта информация является одним из ключевых элементов в исследовании как быстрых катастрофических атмосферных процессов, таких как тропические циклоны, так и общей циркуляции атмосферы.

Поступление данных нового прибора МТВЗА-ГЯ Метеор-М №2-2 позволит, при соответствующей обработке, продлить полученные ранее временные ряды, которые позволят изучать более долговременные климатические процессы.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИСКАЖЕННЫХ И ПРОПУЩЕННЫХ ДАННЫХ ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В РЕЖИМЕ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА

Т.С. Миклашевич¹, С.А. Барталев^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН*

Непрерывный мониторинг в режиме, близком к реальному времени, необходим для решения широкого спектра задач ДЗЗ, связанных с ранним обнаружением явлений природного и антропогенного характера. Несмотря на наличие актуальных космических снимков, информация о состоянии растительного покрова может быть искажена под влиянием таких факторов как облачный и снежный покров, атмосферная дымка, шумы приборов и т.д. Искаженные наблюдения в результате предварительной обработки фильтруются.

В работе представлено описание алгоритма восстановления актуальных наблюдений земной поверхности, основанного на анализе динамически пополняющихся временных рядов спутниковых измерений спектрально-отражательных характеристик растительного покрова. Восстановление информации, недоступной для непосредственного наблюдения, включает в себя анализ предыстории объекта, полиномиальную экстраполяцию достоверных измерений и механизм определения допустимой дальности прогноза при длительном отсутствии данных.

Разработанный алгоритм позволяет восстанавливать зашумленные и искаженные наблюдения в оперативном режиме, в том числе в условиях низкой плотности данных. Мониторинг состояния растительного покрова в оперативном режиме осуществляется с использованием данных спутникового наблюдения глобального охвата AQUA и TERRA MODIS.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-77-30015) с использованием инфраструктуры хранения и обработки спутниковых данных Центра коллективного пользования "ИКИ-Мониторинг" [Лулян и др., 2019]. Тестирование алгоритма для решения задач мониторинга лесов проведено в рамках темы государственного задания ЦЭПЛ РАН № АААА-А18-118052400130-7.

Литература

1. Лулян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С.151-170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РУСЛА РЕКИ АМУДАРЬИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

И.Д. Мухамеджанов, А.М. Константинова
Институт космических исследований РАН

Река Амударья, в силу своих географических особенностей, является трансграничной. В связи с этим пользование водными ресурсами реки странами, расположенными ниже по течению, напрямую зависит от водной политики стран, расположенных выше. Поскольку водность Амударьи зависит от сезона (река имеет ледниково-снеговое питание) и формирование её поверхностных вод представлено в основном двумя главными притоками, реками Вахш (25.8%) и Пяндж (42.6%), возникает необходимость регулярного контроля состояния водных ресурсов этих рек.

В данном исследовании представлена методика спутникового мониторинга русла Амударьи и её притоков с использованием технологии виртуальных гидропостов, основанных на контроле состояния водного зеркала участков рек с помощью спутниковых данных. (Мухамеджанов и др., 2019). Развитие этой методики послужило отправной точкой для анализа и сопоставления динамики ряда, полученного по спутниковым наблюдениям, и ряда наземных измерений. В качестве физической станции был выбран гидропост Керки (г. Керки, Туркменистан) и взяты нормированные данные суточных стоков за 2018 год. Анализ рядов нормированных на максимум в 2018 году показателей площади водного зеркала и объемов суточного стока позволил заметить, что данные, полученные с использованием спутниковых сцен оптического диапазона систем ДЗЗ MSI (Sentinel-2A, -2B), OLI, TIRS (Landsat-8), ETM+ (Landsat-7) в непосредственной близости от физической станции, дают коэффициенты корреляции (Пирсона) >0.9 . По этим данным были построены линейные модели и рассчитана величина среднеквадратической ошибки линейной зависимости значений площади водного зеркала и суточных стоков. На следующем этапе велась работа по изучению влияния удаленности виртуального гидропоста от физической станции на зависимость рядов. В результате был получен график, показывающий величину запаздывания в днях в зависимости от удаленности виртуального гидропоста от физической станции в км выше или ниже по руслу реки, а также коэффициент корреляции до и после сдвига на величину запаздывания.

Описанная методика с учетом морфологии рельефа местности может стать основой для определения оптимальных параметров расположения виртуальных гидропостов по руслу реки, что в перспективе позволит повысить точность прогнозов водности на заданный период. Привлечение расширенных многолетних рядов наземных измерений даст возможность апробировать данную технологию в межгодовой динамике и масштабировать её на другие речные участки.

Все работы были проведены в рамках развиваемого в ИКИ РАН сервиса спутникового мониторинга EcoSatMS. Функционирование системы EcoSatMS осуществляется на основе ресурсов Центра коллективного пользования "ИКИ-Мониторинг" (Лупян и др., 2015, 2019), развиваемого и поддерживаемого в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90114.

Литература

1. Мухамеджанов И.Д., Константинова А.М., Лупян Е.А., Гафуров А.А. Подходы к построению системы дистанционного мониторинга реки Амударья и ее притоков // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11-15 ноября 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 111. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a.
2. Xenarios S. et al. Climate change and adaptation of mountain societies in Central Asia: uncertainties, knowledge gaps, and data constraints // *Regional Environmental Change*. – 2018. – С. 1-14.
3. Мухамеджанов И.Д., Лупян Е.А., Уваров И.А. Особенности спутникового мониторинга гидросооружений Вахшского каскада на примере Нурекского водохранилища. // *Вестник Тверского Государственного университета. Серия: география и геоэкология*. 2018. № 3. С. 137-151.
4. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 3. С. 151-170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ЗЕМЛИ МЕТОДОМ БИНАРИЗАЦИИ ОТСЕЧЕНИЕМ ПО ПОРОГУ ЯРКОСТИ

А.В. Несова, Ф.В. Недопекин, Н.С. Шеставин
Донецкий национальный университет

Одной из важных задач при анализе космических снимков Земли является получения «чистых изображений», с наименьшим процентом шума для прослеживания и выделения объектов интереса (ОИ).

Выделить ОИ на космических снимках Земли, крайне важно, особенно когда ставится задача по подсчету изменений на снимках: их количества и т.д.

Перед началом исследований был рассмотрен стандартный ряд критериев выбора космических снимков Земли, который обычно должен был присутствовать и учтен при дальнейшей работе. Это такие критерии: стоимость на космические снимки, разрешающая способность снимков, объем данных, площадь, выбор различных спектральных характеристик, период съемки и т.д.

Исследования проводились на основе метода бинаризации отсечением по порогу яркости, реализация проводилась с использованием специального программного обеспечения.

Суть метода заключается в следующем. Перед началом обработки цветное изображение переводится в полутоновое. Далее вводится параметр t , это порог, значение которого сравнивают со значением яркости каждого пикселя изображения.

Сам алгоритм обработки заключается в следующем: загружаем космические снимки в рабочую область программы, далее строим гистограмму яркости пикселей - для определения равномерности распределения яркости пикселей на изображениях. Далее выравниваем гистограмму яркостей пикселей и вычисляем нормализованный вегетационный индекс, проводим процедуру вычитания для просмотра характерных изменений на обработанных изображениях, и вводим критический порог t , увеличиваем его до тех пор, пока не будет соблюдено определенное условие.

В результате был получен ряд обработанных изображений со значениями критического порога, равными: 5, 10, 30, 50, 100, 150, 200, 250.

Подводя итоги можно сказать следующее: использование предложенного метода эффективно, когда надо выделить различия на снимках и получить более чистые изображения, но только при условии что будет использоваться высокое значение порога t .

МЕТОД ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДОЛГОСРОЧНЫХ УСУХАНИЙ ХВОЙНЫХ ВЕЧНОЗЕЛЕННЫХ ЛЕСОВ РОССИИ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

И.А. Сайгин

Институт космических исследований РАН

В настоящее время проблема деградации и гибели лесов представляет большой практический и научный интерес. Кроме антропогенных факторов, вызывающих гибель леса, существуют и естественные, наибольшее влияние на леса из которых, оказывают пожары. Существуют также непирогенные факторы, оказывающие наиболее сильное влияние на хвойные вечнозеленые леса и зачастую, приводящие к усыханиям. В России усыхание темнохвойных лесов зафиксировано от западной границы до дальневосточного региона. (Kharuk V.I. et al 2017, Манько Ю.И и др. 2001, Замолодчиков Д.Г. 2011). Поскольку леса России занимают огромные территории, данные дистанционного зондирования со спутников являются незаменимым инструментом для получения информации о лесах на больших территориях.

Выполненные ранее исследования позволили сделать вывод о принципиальной возможности использования отражательных характеристик в красной и ближней ИК области, полученных в зимний период для оценки и выявления повреждений вечнозеленых лесов пожарами. (Стыценко Ф.В. и др. 2019). Данные работы получили дальнейшее развитие в виде оценки возможностей усыхания темнохвойных лесов (Сайгин И.А. 2019). В данной работе выполнено исследование применимости зимних изображений для выявления непирогенных усыхания хвойных вечнозеленых лесов. Для получения отражательных характеристик поверхности использовались спутниковые композитные изображения, полученные приборами MODIS на всю территорию России с 2002 по 2018 года. В работе применялся подход по обнаружению межгодовых изменений отражательной способности в красной и ближней ИК областях спектра с использованием разновременных вегетационных индексов. В результате выполненных исследований был предложен метод детектирования усыхания хвойных вечнозеленых лесов, основанный на использовании композитных изображений, полученных в зимний период, а также карт растительного покрова России. Результаты исследования могут быть использованы для дальнейшей оценки экономических и экологических последствий усыхания темнохвойных лесов на территории России.

Исследования проведены за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-77-30015) с использованием инфраструктуры ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупан и др., 2015).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПОЛИГОНОВ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

А.В. Смолина

Институт космических исследований РАН

Для получения более полной информации о пространственных масштабах и протекающих процессах на полигонах твердых бытовых отходов были проанализированы спутниковые изображения на примере полигонов ТБО "Кучино", "Торбеево" и Тимохово за 2016 и 2019. Изучались изображения в видимом и ИК-диапазонах (MSI Sentinel 2, OLI/TIRS Landsat 8). Были обнаружены косвенные признаки наличия тепловых потоков, возникающих из-за складирования отходов (ранний сход снега по сравнению с другими площадями). Также был проведён сравнительный анализ накопленной информации об яркостной температуре на территории, отведённой под полигон ТБО, и близлежащей контрольной территории.

ИНТЕГРАЦИЯ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ГРАНИЦ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА OVATION PRIME В ИНФОРМАЦИОННУЮ СИСТЕМУ МОНИТОРИНГА ИОНОСФЕРЫ «АВРОРА-АРКТИКА»

А.Д. Умрихин

*Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

Информационная система “Аврора-Арктика”, разработанная в ИКИ РАН, предоставляет набор инструментов для анализа и визуализации состояния ионосферы Земли, а также прогнозирования полярных сияний и других авроральных явлений. Система основана на технологии GEOSMIS, обеспечивающей работу со сверхбольшими распределенными многомерными спутниковыми данными и результатами их обработки, с помощью специального интерактивного интерфейса, предоставляемого пользователям.

В основе системы лежат многолетние архивы данных спутниковых наблюдений, полученных различными системами дистанционного зондирования общим объемом более 2 ПБ, а также ежедневного обновляемые данные наблюдений ионосферы Земли, полученных со спутников серии DMSP, наблюдения солнечного ветра по данным DSCOVR, метеорологические данные NCEP.

В качестве инструмента прогнозирования полярных сияний на языке Python 3 была программно реализована модель предсказания границ аврорального овала OVATION Prime. Данная модель отличается отсутствием необходимости в использовании Кр индекса, который ранее приходилось получать путем экстраполяции, а также возможностью создания прогнозов по отдельным составляющим авроральных явлений: двух типов рассеянного сияния (хаотическое движение электронов и ионов) и двух типов дискретного сияния (моноэнергетические пики и “broadband” ускорение).

Полученная модель была успешно развернута в рамках инфраструктуры информационной системы “Аврора-Арктика” под управлением ОС на базе Linux. Результаты работы модели ежечасно предоставляются основной системе для визуализации в картографическом интерфейсе.

Функционирование системы обеспечивается вычислительной мощностью Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг».

МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСНОГО ПОЛОГА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ MODIS

Т.С. Ховратович^{1,2}, С.А. Барталев^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН*

Проективное покрытие крон, покрытая лесом площадь и полнота древостоя являются показателями горизонтальной структуры древесного полога. Информация о пространственном распределении и динамике данных показателей необходима как в задачах управления лесными ресурсами, так и в научных задачах (Schepaschenko et al., 2015, DeFries et al., 1999, Барталев 2016). Данные о показателях горизонтальной структуры древесного полога могут быть использованы для оценки изменений происходящих в лесах (Achard and et. 2013, Song and et. 2014), а также для получения других характеристик древостоя, таких как запас, возраст или бонитет.

Настоящая работа посвящена построению временного ряда картографических продуктов, характеризующих горизонтальную структуру древесного полога на основе данных прибора MODIS, полученных в период наличия снежного покрова. Преимущество использования такого рода данных для оценки показателей горизонтальной структуры древесного полога основывается на повышении делимости лесных и свободных от лесной растительности классов в красном, ближнем ИК каналах в зимний период. Повышение делимости связано как с уменьшением различий между разными типами подстилающей поверхности, находящимися под снегом, так и с уменьшением различий между разными типами древостоя из-за отсутствия вегетационной изменчивости (Барталев и др., 2016).

В качестве опорной информации были использованы как продукт Tree Cover 2010 (Hansen et al, 2013), несущий информацию о проективном покрытии крон деревьев, так и распределение значений полнот на уровне лесничеств, полученное из базы данных Государственного учета лесов. Дополнительным источником информации о пространственном распределении лесов стали временные ряды карт растительного покрова и преобладающих пород России (Барталев и др., 2016). Основным инструментом обработки данных являлся программный комплекс LAGMA, позволяющий производить сбор обучающей выборки и восстановление заданных параметров локально в узлах регулярной сети (Bartalev et al., 2014). Локализованная обработка данных позволяет оптимально настроить параметры алгоритма и получить более точные оценки искомым параметрам при оценке характеристик на протяженных территориях.

В ходе исследований разработаны методы ежегодной оценки проективного покрытия крон древесного полога, лесистости и полноты древостоя, с помощью которых получены временные ряды картографических продуктов с 2001 по 2018 годы. Дальнейшие направления работ включают в себя валидацию полученных оценок по спутниковым данным Sentinel-2 на основе сети тестовых участков, а также на основе данных имеющихся выборочных площадей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-77-30015) с использованием инфраструктуры хранения и обработки спутниковых данных Центра коллективного пользования "ИКИ-Мониторинг" (Лупян и др., 2019). Подготовка информации о полноте лесов в разрезе лесничеств проведена в рамках темы государственного задания ЦЭПЛ РАН № АААА-А18-118052400130-7.

Литература

1. Achard F., Hansen M. Global Forest Monitoring from Earth Observation // Boca Raton: CRC Press. 2013. p.354
2. Bartalev S., Egorov V., Loupian E., Khvostikov S. A new locally-adaptive classification method LAGMA for large-scale land cover mapping using remote-sensing data // Remote Sensing Letters. 2014. Vol. 5. Iss. 1. pp. 55–64.
3. DeFries R., Townshend J., Hansen M. Continuous fields of vegetation characteristics at the global scale at 1km resolution // Journal of geophysical research. 1999. Vol. 104. Iss. D14. pp.16,911-16,923.
4. Hansen M., Potapov P., Moore R., Hancher M., Turubanova S., Tyukavina A., Thau D., Stehman S., Goetz S., Loveland T., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C. Townshend J. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. Vol. 342. Iss. 6160, pp. 850–853.
5. Song X., Huang C., Sexton J., Channan S., Townshen, J. Annual Detection of Forest Cover Loss Using Time Series Satellite Measurements of Percent Tree Cover. // Remote Sensing of Enviroment. 2014, Vol. 6, pp. 8878-8903.
6. Schepaschenko. D, Shvidenko A., Lesiv M., Ontikov P., Shchepashchenko M., Kraxner F. Evaluation of forest area and its dynamics in Russia based on synthesis of remote sensing products // Contemporary Problems of Ecology. Ecol. 2015, Volume 8, Issue 7,pp 811–817.
7. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208с.
8. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С.151-170.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЖАРНОГО РЕЖИМА ЛАНДШАФТОВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ АКТИВНОГО ГОРЕНИЯ

С.С. Шинкаренко^{1,2}, В.В. Дорошенко³, А.Н. Берденгалиева³

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН*

³ *Волгоградский государственный университет*

Проблема природных пожаров стала особенно актуальной в начале XXI века, когда в силу климатических изменений и снижения сельскохозяйственной нагрузки сложились условия, способствующие возникновению и распространению ландшафтных пожаров.

В работе используется архив очагов активного горения FIRMS за период 2001-2018 гг. На основе пространственного анализа и выборок по атрибутивным данным сформированы массивы термоточек в разрезе сезонных, многолетних, ландшафтных особенностей региона. Во втором десятилетии XXI века произошло трехкратное снижение общего числа очагов активного горения в регионе. После 2009 года наибольшее снижение числа очагов горения (4,9 раза) характерно для типично-степных ландшафтов, далее следуют сухие степи (3,2 раза), лесостепи (2,4 раза) и полупустыни (1,9 раза). До 2010 года на типично-степные и сухостепные ландшафты приходилось примерно по 40% всех очагов горения, а после в типично-степных количество термоточек снизилось до 27%, в полупустыне увеличилось с 17% до 30%, в то время как в сухих степях осталось на том же уровне.

Наибольшее снижение характерно для августа и сентября: 156 и 92 термоточки в год соответственно. Всего же в эти месяцы за период 2010-2018 годы произошло снижение количества очагов горения в 5,6 и 4,4 раза соответственно по сравнению с периодом 2001-2009. Как и для всех подтипов ландшафтов для различных типов подстилающей поверхности характерно снижение количества термоточек во втором десятилетии XXI в. по сравнению с первым десятилетием. Особенно сильное (в 4 раза) уменьшение числа термоточек произошло на обрабатываемых землях, вдвое уменьшилось число очагов горения в лесах, степях и водно-болотных угодьях, и практически без изменений осталось на урбанизированных территориях.

Исследование пожарного режима пастбищных ландшафтов выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-60007, на прочих землях по гранту Президента Российской Федерации для поддержки молодых ученых кандидатов-наук № МК-321.2019.5

СРАВНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОЗЕР ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВОДНЫХ ИНДЕКСОВ

В.Ю. Шмакова

Институт Озероведения РАН

Данные дистанционного зондирования позволяют получить информацию о пространственно-временных параметрах поверхности Земли, в том числе и о водных объектах. В нашей работе стоит задача отделения водной поверхности на спутниковых снимках и анализ точности полученных результатов. Параметры водных объектов по спутниковым снимкам, были получены с помощью наложения водной маски. В этом случае каждый пиксель будет идентифицирован как вода или суша.

В данной работе в качестве примера обработки спутниковых изображений выбраны оз. Белое в Вологодской области и система Больших Крутинских озер в Омской области за определенный период.

В рамках данной работы была составлена программа для расчёта водных индексов с помощью программы в Google Earth Engine для коллекции спутниковых снимков Sentinel-2, MODIS и Landsat-8.

В результате анализа, полученных изображений были выявлены различия между водными масками, рассчитанными для разных водных индексов, на основе фотографий как с одного спутника, так и с различных. На основе анализа почв и климатических особенностей районов был сделан вывод, что, так как Омской области намного меньше влажных почв и болот, то более четко обозначены границы озерной системы. В районе озера Белое, наоборот, прослеживается сильно-увлажненная, болотистая почва, поэтому для лучшего разграничения влажных почв от воды следует применять индекс MNDWI.

Также было замечено, что на выбранных тестовых полигонах более четкое разграничение суши и воды наблюдается для Landsat-8. Отличия получаемой водной маски для различных спутниковых детекторов, во-первых, связаны с небольшими несовпадениями по диапазону длин волн, которые составляют зеленый и инфракрасные каналы. Во-вторых, точность идентификации «водных» пикселей зависит от почв вокруг озера и морфометрических показателей самого водоема (в основном от глубины и высоты над поверхностью моря).

Доклад делается в рамках темы ИНОЗ РАН – Тема 0133-2019-0004 Закономерности распределения озер по территории Евразии и оценка их водных ресурсов.

ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДОНБАССА ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

В.В. Юрченко^{1,2}, А.В. Несова^{1,3}, А.Н. Король¹,
Е.В. Хархордин¹

¹ *Донецкий национальный университет, Украина*

² *Институт физики горных процессов, Украина*

³ *Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам, Украина*

Как указывают спутниковые данные GRACE в декабре 2019 г. на территории Донбасса наблюдается аномалия поверхностной массы эквивалентной высоте воды в -0,2 метра по сравнению с периодом 2005-2010 гг. Эта аномалия появилась за счет уменьшения атмосферных осадков в течении 2019 года, а, следовательно, и уменьшения наполненности горизонтов природных подземных вод, что приводит к незначительному опусканию грунта в зонах накопления этих вод. Такое смещение грунта в пределах бассейна реки Северский Донец исследовано посредством обработки спутниковых данных Sentinel-1A методом радарной интерферометрии.

Аналогичным образом выполнен анализ поверхностных деформаций и смещений сооружений в агломерации Донецк-Горловка-Макеевка-Ясиноватая, где в настоящее время происходят интенсивные техногенные процессы поднятия шахтных вод в дополнение к тектонической активности геологических структур. Например, в Донецке на пересечении Французского и Коксового надвигов построен стадион «Донбасс Арена», при этом рядом со стадионом на поверхности расположены множество терриконов (породных отвалов), а на глубинах от 0,1 до 1 километра образовалась густая сеть пустот (стволов, штреков, и т.п.), как действующих угольных шахт, так и закрытых.

Проникновение шахтных вод в горизонты подземных вод (как грунтовых, так и артезианские) приводит к ухудшению качества этих вод, а затем и поверхностных вод, что существенно сказывается на растительности, которая произрастает на загрязненной почве и впитывает эту грязную воду. Для косвенного анализа влияния на растительность шахтных вод используется метод нормализованных разностных вегетационных индексов (NDVI), которые получают путем соответствующей обработки спутниковых данных Landsat 7. Особый интерес представляют результаты анализа растительности заток рек Донбасса, где в основном сосредоточены дикие растения, на которые оказывают сильное влияние агрессивные компоненты шахтных вод.

Использование архивных снимков спутников серии Landsat позволяют построить для конкретных территорий временные ряды сельскохозяйственной информации о посевах, культурах, урожайности и т.п., при этом можно применять различные вегетационные индексы для обеспечения наглядности результатов. Такие разработки выполнены для некоторых районов и хозяйств Донбасса, а также для ряда государственных ведомств, что способствует социально-экономическому развитию региона.

Для решения вышеперечисленных задач и других актуальных вопросов экологии в Донецком национальном университете создана Региональная совместная лаборатория технологий спутникового мониторинга, которая обеспечивает власть и бизнес информацией о состоянии окружающей среды и последствиях чрезвычайных ситуаций на территории Донбасса.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В.В. Юшков^{1,2}, Р.А. Рудаменко^{1,2}, О.В. Юшкова¹

¹ *Фрязинский филиал Института радиотехники
и электроники им. В.А. Котельникова РАН*

² *Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

Численный эксперимент позволяет не только прийти к пониманию какого-либо процесса, но и значительно удешевить дистанционные исследования объектов Солнечной системы. С помощью радиолокационных приборов можно изучать электрофизические параметры верхнего покрова космических тел, находить в них неоднородности естественного или искусственного происхождения и измерять глубины границ раздела между внутренними структурами. Основная трудность в решении задач подповерхностного зондирования состоит в том, что грунты исследуемых объектов и условия проведения экспериментов чрезвычайно разнообразны. Поэтому до настоящего времени не создано достаточно надежной и универсальной математической модели, описывающей весь процесс дистанционного изучения грунта планет и комет, начиная от выбора диапазона частот зондирования и заканчивая интерпретацией полученных данных измерений. Одним из основных вопросов численного моделирования является понимание того, как рельеф тела влияет на формирование отраженного радиосигнала, какая часть облучаемой поверхности должна быть учтена при интерпретации результатов измерения. До сих пор не понятно как различить сигналы, пришедшие из-под поверхности и сигналы, отраженные от периферийных поверхностных отражателей (клатеров).

Для моделирования отражения радиосигналов от поверхности можно использовать дискретный или статистический подходы. В первом случае отраженный сигнал представим как сумма сигналов, отраженных от каждой точки района проведения измерений с учетом времени распространения сигнала до места отражения и обратно. Во втором случае проводится статистический анализ разности высот рельефа, и потом рассчитывается интегральное отражение. Основой для моделирования является трёхмерная цифровая модель поверхности космического тела, составленная по измерениям альтиметра и фото и видеоматериалам. Совпадение результатов моделирования отраженного сигнала с экспериментальными данными было бы высокой оценкой адекватности понимания и математического описания процесса отражения.

Работа выполняется в рамках программы президиума РАН № 12 "Вопросы происхождения и эволюции Вселенной с применением методов наземных наблюдений и космических исследований".