

10–12 АПРЕЛЯ 2024
МОСКВА

XXI КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
И ПРИКЛАДНЫЕ
КОСМИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ»

НОЦ
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ИКИ РАН

ИКИ

ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

МЕХАНИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА

МОСКВА
2024

XXI КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

”Фундаментальные и прикладные космические исследования”

ИКИ РАН, Москва, 10–12 апреля 2024 г.

Сборник тезисов докладов

Под ред. А.М. Садовского

Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования» (<http://kmu.cosmos.ru>), посвященная Дню космонавтики, традиционно проходит в первой половине апреля. Как стало принято в последние годы, в мероприятии можно было участвовать как очно, так и онлайн.

Тем не менее, оргкомитет пытается сохранить одну из основных целей конференции — дать возможность студентам, аспирантам и молодым ученым отточить навыки публичного выступления перед большой аудиторией, а также принять участие в обсуждении научных результатов: как получить комментарии к своей работе, так и задать вопросы другим докладчикам.

В 2024-ом году на Конференцию поступило более 170 заявок со всех концов страны, а также из Беларуси и Казахстана, что показывает актуальность космических исследований и растущий интерес к космосу. В числе заявок было более 20 докладов от школьников, что отлично демонстрирует возросший интерес к сфере космической науки. Конференция остается самым крупным научным мероприятием по космическим исследованиям среди молодежи.

В этом году Конференция проводилась в основном Советом молодых ученых и специалистов ИКИ РАН, и следует отметить, что Конференция прошла практически идеально.

В конференции приняли участие школьники, студенты, аспиранты и молодые ученые (до 35 лет), чья деятельность связана с космосом и космическими исследованиями. Данный сборник содержит тезисы, присланные участниками Конференции.

Компьютерная вёрстка: Сапунова О.В.

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований Российской академии наук

Оглавление

АСТРОФИЗИКА И РАДИОАСТРОНОМИЯ	4
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ	27
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ	71
КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ	104
КОСМОС В СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ	132
ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	138
ФИЗИКА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ	167

АСТРОФИЗИКА И РАДИОАСТРОНОМИЯ



ТЕСТЫ РЕЖИМА ПРОПЕЛЛЕРА В СИСТЕМЕ SWIFT J0850.8-4219

Афолина М.Д.^{1,2}, Попов С.Б.^{2,3}

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

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

³ *ICTP – Международный центр теоретической физики, Триест, Италия*

Стадия пропеллера – промежуточная эволюционная стадия нейтронной звезды между стадиями эжектора и аккретора. Она остается малоизученной, потому что нейтронные звезды на стадии пропеллера сложно наблюдать из-за малой светимости источников и, в большинстве случаев, малой длительности стадии. В работе De et al. (2023) (astro-ph/2309.07833) показано, что рентгеновский источник SWIFT J0850.8-4219 – симбиотическая двойная система, нейтронная звезда с красным сверхгигантом 2MASS 08504008-4211514. Авторы предполагают, что из-за малой светимости и жесткого спектра излучения нейтронная звезда может находиться на стадии пропеллера. Если это предположение верно, наблюдения этой системы помогут наложить ограничения на параметры стадии. Мы предлагаем к обсуждению разные модели пропеллера и параметры системы. Рассмотрение эволюции нейтронной звезды вместе с эволюцией второго компонента показывает, что в большинстве случаев стадия аккреции начинается сразу после того, как вторая звезда становится красным сверхгигантом. Для наблюдения подобной системы на стадии пропеллера механизм отвода механического момента на этой стадии должен быть малоэффективным или нейтронная звезда должна находиться на большом расстоянии от второго компонента. Мы также рассчитываем значение периода и производной периода для стадии пропеллера и аккретора. Если будут получены наблюдательные данные, сравнение рассчитанных значений с ними поможет точнее определить эволюционную стадию нейтронной звезды.

ПОИСК СИЛЬНОПОГЛОЩЕННЫХ АКТИВНЫХ ЯДЕР ГАЛАКТИК ПО ДАННЫМ ОБЗОРА ОБЛАСТИ ДЫРЫ ЛОКМАНА ТЕЛЕСКОПОМ СРГ/ЕРОЗИТА

Бельведерский М.И.^{1,2}, Быков С.Д.^{3,4}, Гильфанов М.Р.^{1,4}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”*

³ *Казанский федеральный университет*

⁴ *Институт астрофизики общества им. Макса Планка*

Дыра Локмана – область на небе с минимальной концентрацией нейтрального водорода на луче зрения (Локман, 1986). Эта уникальная характеристика позволяет производить глубокие наблюдения источников с минимальным искажением их спектров по причине галактического поглощения. Телескоп СРГ/еРОЗИТА произвел глубокий обзор области Дыры Локмана (среднее время экспозиции – 8 килосекунд) в ходе верификационной фазы в 2019 году.

В работе представлены результаты поиска кандидатов в активные ядра галактик (АЯГ), оптически толстых по Томсоновскому рассеянию, путем прямого анализа их рентгеновских спектров. Из 6528 внегалактических рентгеновских источников, задетектированных телескопом СРГ/еРОЗИТА в этой области, отобран 291 объект с нетипично низким спектральным индексом.

На основе отождествления со спектральными каталогами (Бельведерский и др., 2022) и фотометрических оценок красных смещений (Мещеряков и др., 2022) было показано, что 49 объектов из отобранных 291 имеют небольшое, но статистически значимое внутреннее поглощение. 89 объектов классифицированы как кандидаты в АЯГ, оптически толстые по Томсоновскому рассеянию, в которых доминирует отраженное излучение и отсутствует значимое внутреннее поглощение. Исследована эволюция спектральных характеристик упомянутых категорий объектов с красным смещением. 161 источник из выборки не имеет оценок красного смещения, однако необычные наклоны спектров этих объектов дают основания рассматривать их в качестве кандидатов в сильнопоглощенные АЯГ. Представлен каталог, объекты из которого могут быть использованы в ходе будущих обзоров неба с целью поиска сильнопоглощенных АЯГ.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНОЙ ЗВЕЗДЫ ТЕТА ВОЗНИЧЕГО

Бойко А.С.

Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского

Физико-технический институт

ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН»

Химически пекулярные звёзды занимают почти одну четвертую часть среди звёзд верхней части главной последовательности. Проведение исследований и наблюдений в этой области позволяет получить информацию о происхождении, а также об эволюции магнитных полей звёзд, что в дальнейшем, можно использовать для проверки современных теорий в области звёздного магнетизма и разработки новых гипотез.

Тета Возничего (HD 40312, $A\theta VpSi$) – классическая химически пекулярная Ар-звезда со слабым магнитным полем, продольный компонент которого составляет несколько сотен гаусс.

В данной работе использованы спектрополяриметрические наблюдения тета Возничего, выполненные на 3.6-метровом Канадо-Франко-Гавайском телескопе (CFHT) с помощью спектрографа ESPADONS в режиме спектрополяриметрии. Данные были загружены из открытого архива CADC.

Продольный компонент B_l магнитного поля звезды был вычислен с помощью разработанной в КраО методики, которая основывается на эффекте Зеемана. Эта методика позволяет провести измерения магнитных полей по одиночным спектральным линиям с высокой точностью и исключить влияние инструментальных эффектов на конечный результат.

В работе впервые измерено продольное магнитное поле тета Возничего по отдельным спектральным линиям, исследована переменность поля, рассчитанного по отдельным линиям, с периодом вращения звезды, выполнено моделирование геометрии магнитного поля по магнитным кривым, построенным для разных химических элементов. Результаты этого исследования будут представлены в докладе.

ПОИСК ДАЛЕКИХ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК ПО ДАННЫМ ОБЗОРОВ НЕБА В СУБ-ММ И ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Воскресенская С.А.^{1,2}, Мещеряков А.В.^{2,3},
Матиенко Д.А.¹, Лыскова Н.С.^{2,4}

¹ НИУ Высшая школа экономики

² Институт космических исследований РАН

³ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

⁴ АКЦ ФИАН

Скопления галактик – это крупнейшие гравитационно - связанные объекты во Вселенной, играющие ключевую роль в космологических исследованиях. Они состоят преимущественно из темной материи и излучают в рентгеновском, микроволновом и оптическом диапазонах. Для продвижения в космологических и астрофизических исследованиях скоплений галактик необходимо расширить базу данных, особенно в отношении далеких скоплений с красным смещением $z > 1$. На данный момент существует лишь несколько десятков спектроскопически подтвержденных далеких скоплений галактик в каталогах ACT и MaDCoWS. Мы применили глубокое обучение к (суб)миллиметровым картам ACT+Planck, согласно методу, описанному в статье Воскресенской и др. 2024 (arxiv.org:2309.17077) для обнаружения скоплений галактик. Затем мы использовали алгоритм zCluster на основе данных DECaLS DR9 для определения фотометрических красных смещений ($z_{\text{spec}} > 1$, $\text{NMAD} = 0.016$). Мы представляем каталог из кандидатов в скопления на $z > 1$, в котором содержится 860 объектов. В каталоге кандидатов в далекие скопления представлены объекты с известными спектральными красными смещениями, включая 12 из 25 известных скоплений с $z_{\text{spec}} > 1$ из каталога ACT DR5 и 2 из 10 известных скоплений с $z_{\text{spec}} > 1$ из каталога MaDCoWS. Потеря в полноте по известным далёким скоплениям обусловлена особенностями оптического отождествления далёких скоплений на базе модели zCluster, что мы планируем улучшить в будущем.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИО ГАЛАКТИК

Куриленко Д.Р.¹, Семена А.Н.²

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Институт космических исследований РАН

В представленной работе будут исследованы свойства морфологически отклассифицированной выборки радиогромких галактик. Радиогромкие галактики — подкласс галактик, содержащих активные ядра галактик, демонстрирующих значимые потоки в радиодиапазоне (плотность потока энергии 0.01 от плотности потока в ИК). Поток радиогромких галактик на несколько порядков превосходит поток галактик без АЯГ и радиотусклых галактик. Во многих радиогромких галактиках в радио диапазоне наблюдаются протяженные структуры – джеты.

Одна из самых популярных классификаций радиогромких галактик с джетами - это классификация Фанарова и Райли (далее - FR). В этой классификации галактики, в которой яркость протяженных джетов растет с расстоянием от родительской галактики, называются объектами второго типа FR II, объекты у которых яркость нарастает ближе к ядру галактики относят к первому типу FR I. До сих пор непонятно, за счет чего возникает это различие в морфологии. Лежит ли ответ на этот вопрос в различиях, связанных с процессами, происходящими в центральной машине или все дело во взаимодействиях с окружающей средой?

Во многих работах была отмечена явная корреляция между особенностями оптических спектров и радиоморфологии галактик. В частности оказывается, что объекты FR I как правило классифицируются как объекты со слабо возбужденными эмиссионными линиями (LERG) в то время как среди FR II господствуют галактики с сильно возбужденными эмиссионными линиями (HERG). Было показано, что разделение галактик на HERG/LERG предположительно связано с эффективностью аккреции на центральную черную дыру, а следовательно, FR I, FR II галактики должны иметь значимо различные рентгеновские характеристики. Отсюда был сделан вывод, что FR2 – АЯГ с высокой рентгеновской светимостью, а FR1 – более тусклые.

Сложность проверки этой гипотезы связана с относительной компактностью выборок морфологически классифицированных галактик в пересечении с достаточно глубокими рентгеновскими обзорами. Так например, в одной из последних работ, в которой исследовались рентгеновские свойства таких галактик, выборка состояла всего из шестидесяти объектов. В этой работе для изучения статистических характеристик будут использоваться результаты новой работы по морфологической классификации объектов FIRST и глубокий каталог рентгеновских источников на половине неба eROSITA. Мы построили функцию светимости и уже из нее видна разница между FR1/FR2. Это может быть связано с тем, насколько легкими (т.е. менее эффективными, т.е. менее яркими) являются Активные Ядра Галактик внутри родительских галактик джетов. Так же были построены графики, показывающие, различаются или нет жесткости для FR1/FR2. Были определены массы черных дыр родительских галактик, и показано, действительно ли FR1/FR2 разделяются по отношению светимости к Эддингтоновской. Стоит отметить, что в данной работе используются одни из самых обширных и свежих каталогов радио и рентгеновских данных. В последние годы был сделан большой прорыв в классификации радио галактик, поэтому новые каталоги позволяют нам работать с десятками тысяч отклассифицированных объектов из обзора FIRST. Что же касается рентгеновских данных: в работе используются каталоги телескопа XMM-Newton, и совсем свежий каталог телескопа eROSITA. В работе

также будет обсуждаться космологическая эволюция FR галактик: есть утверждения, что если посмотреть на светимость в радио, то можно сделать вывод, что FR2 галактик было больше в прошлом. Аналогично, взяв рентгеновскую светимость, взяв красные смещения из обзора неба SDSS, можно дать ответ на вопрос о том, растет ли локальная плотность у FR1/ FR2 с красным смещением или нет.

ОГРАНИЧЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ АННИГИЛИРУЮЩЕЙ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ КЭВ-ОГО ДИАПАЗОНА МАСС ПО ДАНЫМ ТЕЛЕСКОПА СРГ/АТ-ХС

Захаров Е.И.^{1,2,3}, Баринов В.В.³, Буренин Р.А.^{1,2},
Горбунов Д.С.^{3,4}, Кривонос Р.А.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

³ *Институт ядерных исследований РАН*

⁴ *НИУ Московский физико-технический институт*

Одной из главных задач современной физики является установление природы холодной темной материи. Согласно последним наблюдениям её вклад в плотность энергии во Вселенной составляет около 25%. На данный момент существует множество различных кандидатов на роль частиц темной материи: стерильные нейтрино, аксионы, WIMP и другие. Для некоторых из этих частиц допустимы процессы, в которых частицы темной материи аннигилируют друг с другом, порождая фотоны рентгеновского излучения. И это рентгеновское излучение, которое представляет собой монохроматическое диффузное излучение от галактического гало, может быть зафиксировано рентгеновскими обсерваториями. В докладе представлено краткое описание основных моделей аннигилирующей темной материи и результаты поиска излучения от галактического гало Млечного Пути и его галактик-спутников по данным 4 полных обзоров неба, выполненных рентгеновским телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского, находящимся на борту космической обсерватории "Спектр-РГ".

КАРЛИКОВАЯ НОВАЯ ЗВЕЗДА

Ковешников Д.А.

ГБОУ "Воробьевы горы"

Открытие и исследование карликовых новых – актуальная задача современной астрофизики. Ценность этих звёзд в том, что они являются прародительницами классических Новых, а при определённых условиях – Сверхновых в Нашей Галактике. Поэтому их важно обнаруживать, заносить в каталоги и определять их физические характеристики.

Карликовые новые являются одним из подклассов катаклизмических переменных. Это взаимодействующие двойные системы с одним (а в некоторых случаях и с двумя) белым карликом. В таких системах происходит аккреция (перетекание) вещества со вторичного компонента на белый карлик. При накоплении критической массы водорода на аккреционном диске вокруг белого карлика происходит термоядерный взрыв, что и приводит к вспышке карликовой новой. На небе это проявляется как увеличение яркости звезды на 4-6-8 звёздных величин. В исключительных случаях (экстремальные карликовые новые типа WZ Стрелы) амплитуда вспышки может достигать и десяти звёздных величин.

Мне удалось открыть карликовую новую в созвездии Лисички. Звезда была обнаружена на отсканированных Паломарских пластинках на сайте Simbad. Проверка снимков на сайте DSS Plate Finder показала, что звезда была во вспышке на двух пластинках, снятых 24 июля и 14 августа 1990 года. Блеск звезды составлял 19.2 величины в синих лучах (фильтр В). При этом на глубоких изображениях этого участка неба, полученных на телескопе Pan-STARRS в 2014–2016 годах, ничего не видно до 23-й звездной величины. Амплитуда вспышки составляет не менее 4 звездных величин, что характерно для карликовых новых. Длительность вспышки (не менее трёх недель) скорее всего говорит о том, что эта звезда относится к типу SU Большой Медведицы или, возможно, WZ Стрелы. Звезда была отправлена на регистрацию в Международный реестр переменных звёзд AAVSO VSX под именем Koveshnikov 1 и получила одобрение администраторов каталога.

Выводы. На снимках Паломарского атласа неба, полученных в конце XX века, до сих пор можно открывать неизвестные карликовые новые. Поиск и изучение таких звёзд является хорошим примером исследовательского проекта для любителей астрономии и школьников.

ИЗУЧЕНИЕ ВИДИМЫХ ВАРИАЦИЙ В НАПРАВЛЕНИИ ДЖЕТОВ АКТИВНЫХ ГАЛАКТИК

Костричкин И.М

НИУ Московский физико-технический институт

Институт космических исследований РАН

В настоящее время считается, что изменение направления джета у активных ядер может быть вызвано несколькими факторами, такими как наличие второй чёрной дыры, плазменные неустойчивости или различия в угловом моменте чёрной дыры и аккреционного диска. Мы разработали процедуру для автоматического определения направления джета на РСДБ-картах, и проанализировали 2311 квазаров с 1994 по 2023 годы в диапазоне частот от 2 до 43 ГГц. Наш анализ, включающий многочастотные наблюдения, является наиболее полным и массовым по сравнению с предыдущими исследованиями. Мы обнаружили, что скорость поворота джета увеличивается с частотой наблюдений. Корреляционный анализ показал, что изменения в направлении джета обусловлены скорее поворотом истечения в начале, чем нерадиальностью движения компонент. На основании результатов анализа мы можем утверждать, что при определённых значениях параметров, все из указанных сценариев могут приводить к изменению направления джета.

СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО СПЕКТРА КАК ИНДИКАТОР ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА В СКОПЛЕНИИ ГАЛАКТИК

Круглов А.А.¹, Лыскова Н.С.¹, Хабибуллин И.И.^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Max Planck Institute for Astrophysics, Garching, Germany*

Одной из основных характеристик горячего газа, заполняющего объем скоплений галактик, является его температура. Обычно она измеряется путем аппроксимации наблюдаемого рентгеновского спектра, вклад в который, однако, могут давать несколько компонент с разной металличностью и температурой. Как правило, применяются однотемпературные модели в расчёте на то, что полученное значение температуры будет репрезентативным средним значением, хотя и, возможно, смещённым из-за мультифазной структуры газа. На примере выборки скоплений галактик из численных космологических гидродинамических симуляций *Magneticum* продемонстрирована корреляция средней энергии спектров скоплений галактик с их температурами и массами, показана устойчивость средней энергии к добавлению рентгеновского фона. Этот результат позволяет минимизировать сложности, связанные с выбором модели для аппроксимации спектров.

РЕГИСТРАЦИЯ ЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ГАММА-ДИАПАЗОНЕ С ПОМОЩЬЮ КОМПТОНОВСКОГО ПОЛЯРИМЕТРА

Мкртчян А.А.^{1,2}, Позаненко А.С.^{1,2}, Минаев П.Ю.²

¹ *НИУ Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

Регистрация поляризации в гамма-диапазоне может дать ответы на важные вопросы физики излучения астрофизических объектов, такие как механизм генерации излучения и геометрия источников излучения. В институте космических исследований разрабатывается детектор СГС/Чибис-АИ, предназначенный для регистрации линейной поляризации гамма-излучения. Он представляет собой матрицу из 32 сцинтилляционных брусков. Принцип измерения поляризации основан на анизотропии комптоновского рассеяния. В работе исследуется влияние количества падающих на детектор фотонов на точность измерения степени и угла линейной поляризации излучения. Обсуждается возможность регистрации поляризации космических гамма-всплесков.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОДИТЕЛЬСКИХ ГАЛАКТИК СОБЫТИЙ ПРИЛИВНЫХ РАЗРУШЕНИЙ ЗВЕЗД С ПОМОЩЬЮ БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА

Мочалина М.В.^{1,2}, Сазонов С.Ю.¹, Хорунжев Г.А.¹

¹ *НИУ Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

Сверхмассивные черные дыры (СМЧД) существуют в ядрах большинства массивных галактик, а их свойства связаны со свойствами их хозяйских галактик. В случае достаточно массивных галактик установлена тесная корреляция между массой центральной СМЧД и массой, светимостью и дисперсией звездных скоростей звездного балджа галактики, что указывает на взаимосвязь роста СМЧД и эволюции галактик. Для менее массивных галактик и черных дыр прямые измерения массы СМЧД выполнить сложнее, что затрудняет изучение этой взаимосвязи. СМЧД с массами менее ста миллионов солнечных масс, как правило, находящиеся в неактивных ядрах галактик, поэтому СПР предоставляют возможность исследовать нижний предел распределения массы СМЧД, поскольку они наблюдаются только ниже массы Хиллса. В данной работе описывается методика, позволяющая откалибровать масштабирование массы СМЧД с массой родительской галактики, что позволяет оценить массы СМЧД для больших выборок СПР без необходимости последующих наблюдений или экстраполяции зависимостей, основанных на выборках черных дыр с большей массой.

ОБНАРУЖЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ СУПЕРВСПЫШКИ НА ЗВЕЗДЕ G-КЛАССА ПО ДАННЫМ XMM-NEWTON И SRG/EROSITA

Мухин А.А.^{1,2}, Кривонос Р.А.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

В рамках глубокого обзора поля UDS рентгеновского телескопа eROSITA обсерватории SRG был обнаружен рентгеновский объект, координаты которого согласуются с положением активной в рентгене звезды G2V класса, расположенной на расстоянии 347 пк от Земли (TIC 332890423).

Этот же источник наблюдался рентгеновской орбитальной обсерваторией XMM-Newton 1 января 2017 года, однако его наблюдаемый поток на порядок превышает поток, полученный телескопом eROSITA.

В результате детального анализа было обнаружено, что поток наблюдения 1 января 2017 года доминирован яркой вспышкой с выделенной в рентгеновском диапазоне энергией не менее 10^{34} эрг. Это позволяет классифицировать наблюдаемое событие как супервспышку на звезде G-класса.

Для звезд G-класса оценка периодичности подобных событий составляет 350 лет, а сами события наблюдаются в других спектральных диапазонах для множества различных источников, но наблюдений звезд главной последовательности с супервспышками в рентгеновском диапазоне проанализировано меньше десятка.

В данной работе по данным обсерваторий SRG/eROSITA и XMM-Newton получены рентгеновские спектры звезды в спокойном состоянии и во время вспышки, а также сделаны оценки температуры и меры эмиссии плазмы в короне звезды в каждом из состояний. Были проанализированы временные профили наблюдений XMM-Newton во время вспышки, получены оценки на характерные времена фазы роста и фазы спада вспышки.

РОМАН С ХАББЛОМ: ПОИСК ПРИЧИН ХАББЛОВСКОГО КРИЗИСА

Неделько Н.С.¹, Горбунов Д.С.^{1,2}, Чудайкин А.С.^{1,3}

¹ *Институт ядерных исследований РАН*

² *Московский Физико-Технический Институт*

³ *Department of Physics & Astronomy, McMaster University*

Одной из главных проблем в современной космологии является ”хаббловский кризис” – расхождение в результатах между различными способами определения современной величины темпа расширения Вселенной – постоянной Хаббла H_0 . С одной стороны, эта проблема предоставляет теоретикам широкое поле для разработки альтернативных моделей, расширяющих стандартную космологию. С другой стороны, многие из этих моделей закрываются отдельными наблюдательными данными. С третьей стороны, многие из этих данных расходятся между собой, и использовать их для закрытия (а тем более открытия) моделей бывает опасно. Доклад описывает современное состояние проблемы на примере семейства моделей с динамической тёмной энергией и типичного набора наблюдательных данных.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ИОННЫХ СОСТОЯНИЙ НЕРАВНОВЕСНО ИОНИЗОВАННОЙ ПЛАЗМЫ В РЕНТГЕНОВСКОМ ДИАПАЗОНЕ

Нежин А.Н.^{1,2}, Лыскова Н.С.², Хабибуллин И.И.^{3,2,4},
Чуразов Е.М.^{2,4}

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Институт космических исследований РАН

³ Университет Людвига и Максимилиана

⁴ Институт Астрофизики общества им. Макса Планка

Одним из основных методов астрофизических исследований является анализ рентгеновских спектров. Особенность подобного метода заключается в том, что определение некоторых параметров изучаемого объекта невозможно произвести напрямую. В результате чего особенно важными являются такие спектральные данные, что могут быть однозначно связаны с тем или иным качеством объекта.

Соответственно, цель данного исследования заключается в определении подобных спектральных «маркеров» в неравновесно ионизованной плазме. Наиболее интересным представляется случай «недоионизации», возникающий, например, на ударных волнах при вспышках сверхновых. Его главное свойство - появление специфичных спектральных линий, являющихся результатом возникновения промежуточных ионных состояний. Промежуточные ионные состояния – такие ионные состояния, которые не существуют в равновесных случаях для заданных температур «до» и «после» ударной волны. В силу ограниченности времени существования подобных состояний, интегральная светимость оных может оказаться надёжным источником информации о параметрах исследуемого объекта и окружающего его разреженного газа.

Для проведения исследования используется компьютерная модель, вычисляющая эволюцию ионных долей и температур плазмы при заданных параметрах задачи. При этом доступно варьирование:

- начальной температуры;
- исходного состава плазмы;
- гидродинамических моделей, описывающих ударные волны;
- темпов выравнивания температур между компонентами плазмы.

Работа имеет следующую структуру. Первая часть работы содержит краткое описание используемой в исследовании модели. Вторая часть посвящена параметрам проведённого модельного эксперимента. В третьей части обсуждаются полученные результаты.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАРЛИКОВЫХ НОВЫХ ТИПА UGWZ

Оленич Е.Р.

ГБОУ "Воробьевы горы"

Актуальность темы: Карликовые новые - это катаклизмических переменные (тесные двойные системы с белым карликом). Они являются рентгеновскими источниками и прародителями сверхновых типа Ia. Самыми яркими представителями этого класса являются звезды типа UGWZ.

Гипотеза: Все карликовые новые звезды относятся к одной подсистеме Нашей Галактики и подчиняются одному и тому же пространственному распределению.

Цель работы: Построить наблюдаемое распределение звезд разных типов по блеску во вспышке. Сравнить их фактическое и теоретическое распределение в модели плоского диска. Примерно определить масштаб расстояния, на котором модель Нашей Галактики переходит из трехмерной в двухмерную, и, таким образом, оценить характерную толщину галактического диска.

Ход работы: В данном проекте производился сбор информации из международных каталогов переменных звезд. С помощью базы данных AAVSO VSX была сгенерирована таблица с более чем 300 звездами типа UGWZ. Все амплитуды вспышек были посчитаны вручную, а массив данных перебран на предмет корректности. С помощью вычисленных данных были построены графики распределения звезд по амплитуде вспышек и по блеску в максимуме, а также зависимость звездной величины от расстояния. Параллаксы звезд брались из 3-го релиза данных обсерватории Gaia (Gaia DR3). Для сравнения были построены аналогичные распределения для других типов переменных звезд.

Результат: Распределение звезд показывает характерный излом, соответствующий переходу от сферически симметричного к плоскому диску. Но даже при этом график наблюдаемого числа звезд идет ниже расчетного. Это указывает на дефицит обнаруженных катаклизмических переменных. Самым неожиданным результатом оказалось явное смещение наклона графиков для переменных звезд разных типов.

ЗАВИСИМОСТЬ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ КВАЗАРОВ ОТ МАССЫ И ТЕМПА АККРЕЦИИ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ ПО ДАННЫМ ОБЗОРОВ SDSS, СРГ/ЕРОЗИТА И ХММ-NEWTON

Прохоренко С.А.^{1,2}, Сазонов С.Ю.^{1,2}, Гильфанов М.Р.^{1,3},
Балашев С.А.⁴, Бикмаев И.Ф.^{5,6}, Иванчик А.В.⁴,
Медведев П.С.¹, Старобинский А.А.^{7,2}, Сюняев Р.А.^{1,3,8}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»*

³ *Институт Астрофизики общества им. Макса Планка*

⁴ *Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН*

⁵ *Казанский федеральный университет*

⁶ *Академия наук Республики Татарстан*

⁷ *Институт теоретической физики имени Л. Д. Ландау РАН*

⁸ *Институт перспективных исследований Принстона*

В текущем докладе представлены результаты исследования долговременной (от нескольких месяцев до 20 лет в системе покоя) переменности рентгеновского излучения 2344 ярких в рентгене квазаров из каталога SDSS DR14Q на основе данных обзора всего неба СРГ/еРОЗИТА, дополненных архивными данными каталога случайных источников ХММ-Newton для 7% выборки. В исследовании в качестве характеристики переменности использовалась структурная функция, $SF(\delta t)$. Полученные результаты подтверждают известную ранее антикорреляцию амплитуды рентгеновской переменности со светимостью. Также нами была изучена зависимость рентгеновской переменности от массы черной дыры, МВН, и от оцененного на основе рентгеновского излучения отношения Эддингтона, λX . Как оказалось, менее массивные черные дыры более переменны для заданного отношения Эддингтона и масштаба времени. Также, рентгеновская переменность растет с уменьшением отношения Эддингтона и становится особенно сильной при λX менее или порядка нескольких процентов, что может свидетельствовать о переходе в другое состояние аккреции. Наши результаты подтверждают рост амплитуды рентгеновской переменности с увеличением масштаба времени. Мы выяснили, что зависимость квадрата SF от временного масштаба хорошо описывается степенным законом с разными наклонами в интервале от ~ 0 до ~ 0.4 для разных подвыборок по λX и МВН (за исключением подвыборки с наименьшими МВН и λX , для которой наклон равен 1.1 ± 0.4).

ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ВСПЫШЕК НА ЗВЕЗДАХ ТИПА γ CAS HD 110432 И HD 119682

Рыспаева Е.Б.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

К загадочному подклассу звезд типа γ Cas (аналогов γ Cas) относятся одиночные или двойные с маломассивным спутником Ве-звезды, окруженные декреционными дисками. Рентгеновская светимость звезд типа γ Cas выше, чем у типичных Ве-звезд, но ниже, чем у рентгеновских двойных систем с Ве-компонентами. В предположении о полностью тепловой природе рентгеновского излучения звезд типа γ Cas, температура излучающей плазмы должна быть 10-20 кэВ и даже более. У звезды этого подкласса HD110432 (BZ Cru) зафиксированы рентгеновские квази-вспышки длительностью от 3 до 20 килосекунд, не приводящие к значительным изменениям характеристик её рентгеновского спектра, и несколько сотен быстрых вспышек, длительностью до 1.5 мин (Smith et al., 2012). Также обнаружено 17 регулярных вариаций рентгеновского блеска звезды с периодами от 117 с до 6.5 часов, имеющих транзиентный характер: они проявляются в одну эпоху наблюдений звезды и не обнаруживаются в другие эпохи. Такие особенности кривых блеска могут быть обусловлены либо аккрецией на вырожденный или маломассивный спутник, либо взаимодействием магнитного поля звезды и диска при перезамыкании силовых линий магнитного поля. В настоящей работе выполнен поиск быстрых вспышек в рентгеновских кривых блеска в наблюдениях звезд HD 110432 и HD 119682. У второй звезды тоже зафиксированы транзиентные рентгеновские квази-вспышки и вариации рентгеновского блеска, проявляющиеся только в одном наблюдении. Для поиска быстрых вспышек использовалась следующая процедура. Для каждой кривой блеска определялся «фоновый» уровень, который принимался равным экспоненциальному скользящему среднему. Вспышкой считалось увеличение скорости счета относительно «фонового» уровня более чем на $3 - 4\sigma$. В каждой кривой блеска найдены от нескольких десятков до нескольких сотен быстрых вспышек, длительностью от нескольких секунд до 8 минут. Исследованы изменения количества и характеристик быстрых вспышек со временем и их связь с особенностями рентгеновских спектров звезд.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОРБИТЫ КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ "МИЛЛИМЕТРОН"

Сячина Т.А.

Астрокосмический центр ФИАН

На данный момент актуальной является задача наблюдения астрономических объектов в разных диапазонах длин волн. Один из методов - радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами (РСДБ). Для этих исследований на данный момент создается обсерватория «Миллиметрон» («Спектр-М») – 10-метровый космический телескоп, позволяющий проведение наблюдений в широком диапазоне длин волн электромагнитного спектра – от дальнего ИК до миллиметрового. Это позволит решать такие задачи, как, например, изучение детальной структуры черных дыр.

«Миллиметрон» будет способен выполнять научные наблюдения в двух режимах: режиме одиночного телескопа и режиме наземно-космического интерферометра (КРСДБ). Таким образом, встает сложная и нетривиальная задача - выбор орбиты космического радиоинтерферометра Миллиметрон.

Для учета требований по охлаждению аппаратуры телескопа и выполнения научной миссии в режиме одиночного зеркала, для космического аппарата была выбрана гало-орбита, расположенная в окрестностях точки Лагранжа L2 системы Земля-Солнце.

В данной работе описывается методика проведения расчета номинальной траектории аппарата в точке L2 с учетом гравитационного влияния Солнца, Земли, Луны и планет. Сделан расчет траектории перелета от Земли с учетом наклона орбиты. Выполнены оценки по затратам топлива.

ИЗМЕНЕНИЕ НАБЛЮДАЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ПУЛЬСАРА 4U 0115+63 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕГО СВЕТИМОСТИ ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИИ NUSTAR

Ушакова Е.А.

Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики"

Во время гигантских вспышек в рентгеновском пульсаре 4U 0115+63 наблюдаются квазипериодические осцилляции (КПО) рентгеновского потока с низкой частотой (1-2 мГц) и большой амплитудой (Heindl et al., 1999, Roy et al., 2019). В частности, подобные КПО наблюдались обсерваторией NuSTAR в 2015 году.

Наличие такой переменности позволяет проследить за изменениями в свойствах аккреционного потока вблизи нейтронной звезды при увеличении светимости. В данной работе исследовались зависимость формы профиля импульса и рентгеновского спектра от моментального темпа аккреции.

Показано, что средний вид импульса при увеличении светимости меняется незначительно. При этом некоторые спектральные параметры, а именно фотонный индекс и положение циклотронной линии, демонстрируют линейный характер зависимости от светимости нейтронной звезды.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОШЛЫХ ВСПЫШЕК ТИПА FU ORI В ЛИНИЯХ МОЛЕКУЛ

Цвикки Л.Н.¹, Молярова Т.С.²

¹ *Уральский федеральный университет*

² *Южный федеральный университет*

Протопланетные диски представляют собой одну из важнейших стадий звездообразования и формирования планет. Эти объекты могут проявлять целый ряд видов переменности, в том числе испытывать вспышки светимости, которые могут влиять на физическую и химическую структуру дисков. Наиболее мощными и продолжительными среди них являются вспышки типа FU Ori, амплитуда которых составляет несколько сотен L_{\odot} , а длительность — несколько десятилетий. Такие вспышки довольно редки, и на сегодняшний день известно лишь около десятка подтвержденных звезд типа FU Ori (фуоров). Однако гораздо больше дисков могли испытать такую вспышку за последние ~ 10000 лет.

Целью данной работы является выявление наблюдательных признаков прошлой вспышки на основе численного моделирования интегральных потоков излучения в одних из самых часто наблюдаемых в протопланетных дисках молекулярных линиях. Для этого использовались астрохимическая модель протопланетного диска ANDES, код переноса излучения RADMC-3D, а также симулятор CASA телескопа ALMA для моделирования влияния вспышки на физико-химическую структуру типичных систем типа FU Ori и того, как это отражается на потоках молекулярных линий. По результатам моделирования были определены несколько комбинаций молекулярных линий, которые могут обнаружить прошлые вспышки типа FU Ori в системах как с оболочками, так и без них. Наиболее перспективными с наблюдательной точки зрения являются комбинации молекулярных потоков линий $N_2H^+ J = 3 - 2$, $C^{18}O J = 2 - 1$, $H_2CO (J_{K_a, K_c}) = 4_{04} - 3_{03}$ и $HCN J = 3 - 2$.

Были проанализированы процессы, приводящие к изменению молекулярных потоков, и было показано, что они связаны либо с тепловой десорбцией, либо с увеличением темпов химических реакций в молекулярном слое. Используя наблюдаемые потоки в линиях CO, HCN, N_2H^+ и H_2CO из литературы, было обнаружено десять близлежащих дисков, которые могли испытать вспышки типа FU Ori за последние $\sim 10^3$ лет: [MGM2012] 556, [MGM2012] 371 и [MGM2012] 907 в L1641, протопланетные диски класса II вокруг CI Tau, AS 209 и IM Lup и переходные диски DM Tau, GM Aur, LkCa 15 и J1640-2130.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОИСКА ОПТИЧЕСКИХ ТРАНЗИЕНТОВ НА АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ МЕТОДОМ ВЫЧИТАНИЯ

Щекотихин Е.А.¹, Панков Н.С.^{1,2}, Белкин С.О.^{1,2},
Позаненко А.С.^{1,2}, Минаев П.Ю.^{2,3}, Вольнова А.А.²

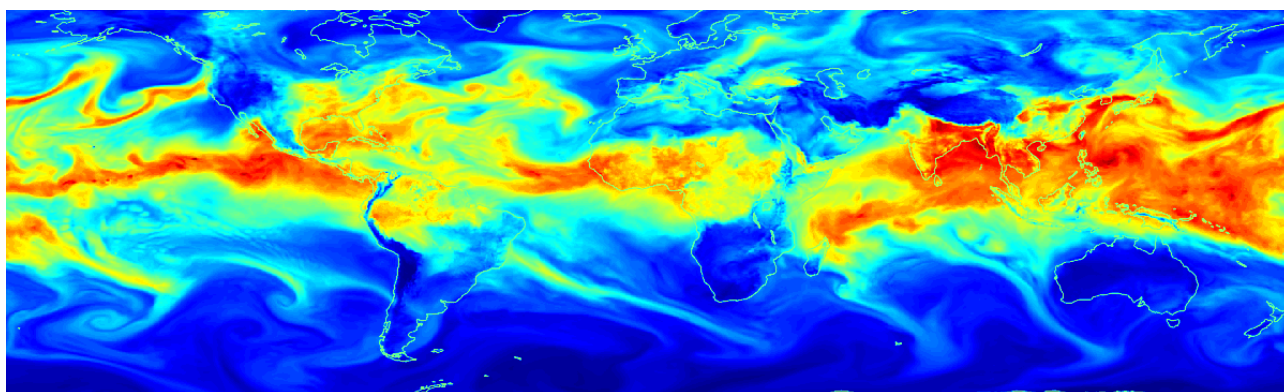
¹ НИУ ВШЭ

² ИКИ РАН

³ Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН

Задача вычитания астрономических изображений возникает во многих приложениях, например, при поиске в больших полях области локализации оптических источников, сопровождающих гравитационно-волновые события LIGO/Virgo/KAGRA. В этом случае источник расположен в относительно близкой родительской галактике и обнаружить его другими методами не получается. Задача вычитания существенно усложняется, если два изображения, подлежащие процедуре вычитания: поисковое (с предполагаемым транзиентом) и референсное получены на разных телескопах. В данной работе исследуется возможность использования нейронной сети для преобразования вычитаемого (референсного) изображения к поисковому с целью обнаружения и фотометрии на их разнице оптических транзиентов. На примерах изображений телескопа AC-32 Абастуманской высокогорной обсерватории и референсных снимков обзора Pan-STARRS демонстрируется возможность идентификации и оценки потока точечных транзиентов в галактике M82 предлагаемым методом. Метод может быть применен в любой задаче, где поиск оптических транзиентов осуществляется методом вычитания.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ



НЕЙРОСЕТЕВАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ОБЛАЧНОСТИ И СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫМ ДАННЫМ СПУТНИКА "ЭЛЕКТРО-Л № 2"

Беляков Н.В.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Работа посвящена методике семантической сегментации облачности и снежного покрова по мультиспектральным данным с аппаратуры МСУ-ГС геостационарного космического аппарата «Электро-Л № 2» с применением нейронной сети сверточного типа. В качестве дополнительной информации используется географическая информация: широта, долгота и высота для пикселей снимков. Результатами работы является набор данных с метеорологических космических аппаратов «GOES-16», «Meteosat-10», «Электро-Л № 2» и миссии Terra/MODIS с масками облачного и снежного покрова, а также обученная модель сегментации Multi-Scale Attention Network (MANet) на этих наборах данных. L2-продукты с «GOES-16», «Meteosat-10» использовались для создания разметки облачных покровов для данных с МСУ-ГС путем их репроецирования на точку стояния «Электро-Л № 2». Таким же образом были получены маски снега, взятые с продуктов системы Terra/MODIS. Главная проблема поставленной задачи - разработка алгоритма выделения снежного и облачного покровов в условиях отсутствия узких коротковолновых инфракрасных (ИК) каналов (1300-1600 нм), необходимых для реализации алгоритмов сегментации и разделения снега от облачности. При данных ограничениях на характеристики съемочной аппаратуры единственным возможным решением задачи выделения снега и облаков на мультиспектральных снимках является разработка нейросетевого алгоритма, способного дифференцировать снег от облаков. Для максимальной репрезентативности снимки в выборке включают в себя все времена года и разные уровни освещенности (12.00-17.00 UTC). Обученная нейронная сеть для сегментации облачности и снега протестирована по метрикам F_1 и IoU.

Тестовые снимки с «Электро-Л № 2» включают все сезоны года в дневное время суток при разном уровне освещенности.

Разработанный алгоритм позволяет создавать маски облачности и снежного покрова для области, ограниченной значениями зенитного угла Солнца в диапазоне от 0 до 80 градусов для дневного времени суток. Однако возможны некоторые ошибки в классификации снега во время облачности из-за ошибок на краях изображений в следствии геометрических искажений и дисторсий. Описываемый в работе метод может быть адаптирован для сегментации снежного покрова и облачности на данных, полученных с других спутников дистанционного зондирования Земли и метеорологических КА.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ SENTINEL-2 И МАТЕРИАЛОВ ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЕЙ

Богодухов М.А., Барталев С.А., Жарко В.О.

Институт космических исследований РАН

Для формирования по спутниковым данным ДЗЗ карт характеристик леса, в том числе необходимых для оценки их запасов углерода, в национальном масштабе, используются данные ДЗЗ со средним пространственным разрешением (примерно 250 метров на пиксель). Однако, наиболее актуальные данные наземных обследований лесов, доступные для их валидации, характеризуют лесной покров на уровне пробных площадей (ПП) диаметром около 30 метров, что затрудняет их прямое сопоставление. Следовательно, актуальной является задача создания карт характеристик лесов высокого разрешения с размером пикселя 10-30 метров, основанных на материалах ПП и ДЗЗ, в том числе для валидации продуктов обработки данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения.

В докладе описан ряд экспериментов по развитию подходов к определению запаса стволовой древесины и преобладающей породы на основе временных рядов данных Sentinel-2, характеризующих сезонную и фенологическую динамику спектрально-отражательных характеристик лесного покрова, и материалов ПП с использованием регрессионной оценки и классификации методом случайных лесов, на примере двух тестовых полигонов на территории Республики Башкортостан и Томской области.

Проведен эксперимент по подбору оптимального набора признаков для обучения моделей на основе анализа out-of-bag оценок ее точности и рекурсивного исключения наименее информативных признаков. Дальнейшие эксперименты выполнялись уже с использованием подобранных оптимальных наборов признаков. Предложены подходы к коррекции обучающей выборки для учета возможных ошибок определения координат и характеристик лесов ПП и потенциального повышения точности оценки. При этом происходит итеративное смещение ПП в оптимальный пиксель в ее окрестности с наиболее репрезентативными спектрально-временными характеристиками, или изменение рассматриваемой характеристики на ПП, на основе промежуточных моделей, обученных по остальным ПП.

Выполнен сравнительный анализ точности получаемых оценок с наземными данными на уровне таксационных выделов, как для базовой модели на основе случайных лесов, так и при использовании предложенных методов коррекции опорной выборки.

Серия проведенных экспериментов показала, что подходы по коррекции опорной выборки при сравнении с данными на уровне таксационных выделов не показали устойчивого повышения точностей оценки запаса стволовой древесины и преобладающей породы. При этом подбор набора оптимальных признаков для обучения модели позволил улучшить показатели точности оценки характеристик лесов на 5-10

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6). Обработка данных ДЗЗ проводилась с использованием ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лузян и др., 2019), развиваемого и поддерживаемого в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8).

Литература:

[1] 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.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЛАКО ТОЧЕК, ПОЛУЧЕННЫХ С ДЗЗ НА ПРИМЕРЕ БПЛА

Василенко Д.В.

НИУ Московский физико-технический институт

Акционерное общество «ФИРМА «РАКУРС»

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), к которым относятся космическая и аэрофотосъемка, воздушное лазерное сканирование являются ценным источником информации об объектах и местности. В результате обработки таких данных с помощью специализированных программных решений создаются различные информационные продукты: ортофотопланы, цифровые модели рельефа и местности, 3D модели строений, карты, топопланы, и другие материалы, используемые в разных отраслях экономики.

Появление новых типов съемочной аппаратуры, увеличение объема данных, качественный и количественный рост потребителей материалов ДЗЗ требует постоянного совершенствования программного обеспечения.

Технология использования лазерных сканеров (лидаров, LIDAR) все шире используется профессионалами. Воздушное лазерное сканирование (с борта самолета или с борта БПЛА) стало синонимом получения 3D облака точек. Почти всегда лазерное сканирование проводится совместно с аэросъемкой, что позволяет совместить оптические аэроснимки с 3D облаком точек, полученных при лазерном сканировании. В результате лазерные точки кроме трехмерных координат получают и важный атрибут цвет. В случае, если же на борту самолета или БПЛА не было лазерного сканера, современные фотограмметрические методы позволяют строить трехмерные облака точек, даже более плотные, чем в случае использования лидара. Работа посвящена вопросам классификации 3-х мерных облаков точек с цветом не зависимо от того, каким способом они были получены - с помощью лазерного сканера или фотограмметрическим методом.

В процессе работы была спроектированы и разработаны модули обучения и применения сверточной нейросети для классификации облаков точек. Для контроля качества классификации использовались метрики точности и объединения над пересечением. При обучении на открытом наборе фотограмметрических данных SensatUrban достигнуты следующие показатели: точность 85%, объединение над пересечением 70%. Разработанный модуль позволит значительно повысить производительность ручной классификации облаков точек.

ОЦЕНКА ВЫСОТЫ ОБЛАЧНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ СТЕРЕОПАРЫ СНИМКОВ «АРКТИКА-М» И HIMAWARI

Волкова Е.Е., Бриль А.А.

Институт космических исследований РАН

Оценка высоты верхней границы облачности является важной задачей мониторинга атмосферных явлений и чрезвычайных ситуаций, в том числе вулканической активности. Классическим методом решения данной задачи является расчёт высот с помощью стереопары одновременных снимков разных космических аппаратов (КА). Метод, как правило, используется для пары геостационарных спутников либо геостационарного и низкополярного, что не обеспечивает достаточных частоты наблюдений и охвата территории.

КА «Арктика-М» №1, будучи уникальным квазигеостационарным спутником, позволяет использовать метод стереопары в комбинации с геостационарным КА. Одновременность наблюдений с несколькими геостационарными КА даёт потенциальную возможность обеспечения частых измерений почти всего северного полушария, что позволит осуществлять регулярный мониторинг интересующих объектов на активном участке работы КА «Арктика-М» №1.

В докладе рассматривается методика определения высоты облачности по снимкам высокоэллиптического КА «Арктика-М» №1 и геостационарного КА Himawari-9: описываются способ автоматизированного определения соответствующих участков снимков с помощью методов поиска и сопоставления контрольных точек и последующий расчёт высоты в этих точках. Высоты облачности (а также тепловых шлейфов) были рассчитаны за 2023 год на территорию Камчатки. Предложенная методика реализуется в специализированных инструментах информационных систем «Вега-Science» (Loupian, 2022) и VolSatView (Гирина, 2018).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8) с использованием возможностей центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг», включая УНУ «Вега-Science».

Литература:

[1] AF Hasler, Stereographic observations from geosynchronous satellites: An important new tool for the atmospheric sciences. Bull Am Meteorol Soc 62, 194–212 (1981).

[2] Loupian E.A., Burtsev M.A., Proshin A.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A.M., Kobets D.A., Radchenko M.V., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. №. 1. P. 77. DOI: doi.org/10.3390/rs14010077.

[3] Гирина О.А., Лупян Е.А., Крамарева Л.С., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Сорокин А.А., Гордеев Е.И., Уваров И.А., Кашницкий А.В., Бурцев М.А., Марченков В.В., Мазуров А.А., Константинова А.М., Романова И.М., Мальковский С.И., Королев С.П. Информационная система "Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил" (ИС VolSatView): возможности и опыт работы // "Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли - RORSE 2018". ИКИ РАН, 2019. С. 359-366. DOI: doi.org/10.21046/rorse2018.359.

ОЦЕНКА ЗАПАСА СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ ЕЁ ДИНАМИКИ И ОЦЕНКА ЕЁ ПОГРЕШНОСТИ

Ворушилов И.И., Барталев С.А., Егоров В.А.

Институт космических исследований РАН

Данная работа представляет собой дальнейшее развитие исследования, направленного на ежегодную оценку запасов стволовой древесины на территории России. Цель данной работы – опробовать новые методики, касающиеся предварительной обработки признаков, применения регрессора LGBM, включая поиск оптимальных параметров, анализа полученной динамики величин запаса стволовой древесины, оценки погрешности запаса стволовой древесины.

Развитие предварительной обработки данных подразумевает пространственное выравнивание яркостных характеристик на основе безлесных территорий покрытых снегом, поиск оптимального признака на основе красного и ближнего ИК каналов MODIS, который будет функционально одинаково соответствовать одинаковым запасам для хвойных и для лиственных лесов.

В качестве новой методики оценки запаса предлагается опробовать регрессор LGBM в качестве инструмента увеличения опорной выборки на основе множества признаков, а также поиска оптимальных параметров для его работы.

Оценка погрешности использует опорную выборку и позволяет построить зависимость величины погрешности от величины запаса.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учёта данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6). Обработка данных осуществлялась с использованием вычислительного кластера "ИКИ-Мониторинг, поддерживаемого программой "Мониторинг" (государственный регистрационный номер 122042500031-8).

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ВОДЫ ВОДОЕМОВ РОССИИ

Врублевский М.В., Бурцев М.А.

Институт космических исследований РАН

Получение информации об уровне воды в водоемах необходимо для оценки запасов пресной воды, изучения режимов рек, а также для исследования наводнений и засух.

Для таких задач основным источником данных являются измерения на гидрологических постах, все чаще уступающие по доступности спутниковым наблюдениям. ИСЗ позволяют получать глобальные регулярные наблюдения, в том числе для труднодоступных водоемов. Кроме того, отдельные методы зондирования, такие как радиолокация и радиолокационная альтиметрия, данные которой использованы в этой работе, обеспечивают возможность круглосуточных всепогодных наблюдений.

Текущие миссии альтиметрии – Sentinel-3[1] и Sentinel-6 Michael Freilich[2] – имеют высокое пространственное разрешение (около 300 м), что позволяет проводить измерения высоты поверхности не только в мировом океане, но и над внутренними водоемами.

Автором ранее был разработан программный блок[3] для обработки данных альтиметрии Sentinel-3 для создания сети космических гидропостов на реке Амур и вычисления уровня воды на каждом из них. Для полноценного функционирования в виде системы не хватало модуля визуализации и модуля обработки данных наземных измерений. В ходе этой работы недостающие модули были разработаны.

Упомянутые программные блоки в совокупности формируют систему сбора, обработки и отображения информации об уровнях воды на основе спутниковых наблюдений, а также открытых источников данных наземных измерений (таких как [4,5]) для всех водоемов Российской Федерации. Система интегрирована в систему «Вега-Science»[6].

Разработанная система позволяет автоматически:

- собирать, обрабатывать и архивировать данные альтиметрии и гидрологических станций;
 - вычислять уровни воды по измерениям альтиметрии;
 - формировать временные ряды наблюдений;
 - а также дает возможность с помощью картографического интерфейса[7]:
 - осуществлять поиск данных;
 - отображать гидропосты как космические, так и наземные;
 - строить ряды наблюдений;
- проводить анализ данных об уровне воды совместно с картографическими, спутниковыми и другими данными.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки в рамках темы «Мониторинг» (гос. регистрация № 122042500031-8).

Литература:

[1] sentinels.copernicus - URL: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3> (дата обращения - 07.03.2024)

[2] ESA - URL: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6 (дата обращения - 07.03.2024)

[3] Врублевский М.В., Бурцев М.А. Система мониторинга уровня воды внутренних водоемов на основе данных альтиметрии // 8-я международная научно-техническая конференция "В.Ф. Уикин-100 лет со дня рождения. Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика". Рязань, 2023. С. 279-280.

[4] ESIMO - URL: <http://portalesimo.ru/portal> (дата обращения - 07.03.2024)

[5] Rushydro - URL: <https://rushydro.ru/> (дата обращения - 07.03.2024)

[6] Loupian E.A., Burtsev M.A., Proshin A.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A.M., Kobets D.A., Radchenko M.V., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. №. 1. P. 77. DOI: doi.org/10.3390/rs14010077.

[7] Врублевский М.В., Константинова А.М., Бурцев М.А. Интерфейс для работы с данными альтиметрии для мониторинга внутренних водоёмов // Материалы 21-й международной конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Электронный сборник материалов конференции. 13 - 17 ноября 2023. ИКИ РАН. Москва, 2023. С. 76. DOI: [10.21046/21DZZconf-2023a](https://doi.org/10.21046/21DZZconf-2023a).

ОЦЕНКА МАСШТАБОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ НА ПОСТ-ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ ЭТАПЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Деменев А.Д., Мизев А.А., Березина О.А.,
Максимович Н.Г.

Естественнаучный институт ПГНИУ

Разработка месторождений полезных ископаемых оказывает определенное воздействие на объекты окружающей среды. При этом завершение добычи ресурсов без проведения комплекса природоохранных мероприятий не всегда приводит к быстрому восстановлению природных экосистем.

Техногенное воздействие на водные объекты при недропользовании практически невозможно исключить, поэтому особенно важным является организация оперативных наблюдений за их гидрохимическими характеристиками. Существующие технологии позволяют перейти на принципиально новый уровень контроля за состоянием окружающей среды, в том числе для обеспечения оперативных наблюдений за состоянием поверхностных вод. Для комплексной оценки наряду с результатами традиционного мониторинга, предлагается использование спутниковых данных и технологии Интернета вещей (IoT).

Тестовая организация системы мониторинга поверхностных вод, выполняется на территории Пермского края в районе Кизеловского угольного бассейна, где в течение длительного периода в реки попадают кислые шахтные воды. Разрабатываемая концепция мониторинга включает в себя комбинацию трех разных типов данных - результатов традиционных режимных наблюдений с пробоотбором, данных сети автоматизированных измерительных устройств и данных дистанционного зондирования Земли. В настоящее время определена архитектура комплекса автоматизированного мониторинга, проанализировано 97 космических снимков за 2019-2023 гг., где на 64 участках проводился расчет водных индексов, характеризующих экологическое состояние рек и водохранилищ, проведены полевые работы. Расчет индексов (AMWI - Acid Mine Water Index, и TSM - Total Suspended Matter) проводился в фоновых участках, в зонах разгрузки изливов шахтных вод и в водных объектах в десятках километров ниже по течению от рассматриваемых источников загрязнения. Дана оценка использования спутниковых наблюдений с учетом их совместного анализа с результатами традиционного мониторинга. Сделан вывод о том, что спутниковые данные позволяют достаточно достоверно оценивать распространение загрязняющих веществ, что особенно важно для наблюдений за обширными территориями и труднодоступными участками. Однако для покомпонентной оценки уровня загрязнения рек необходимы данные гидрохимических параметров анализируемых водных объектов, поэтому наиболее целесообразным является совместное использование различных источников информации. На последующем этапе планируется провести комплексный анализ данных спутниковых наблюдений и наземных датчиков, чтобы уточнить зависимости между спектральными и гидрохимическими характеристиками загрязненных водотоков.

Разрабатываемая система мониторинга будет отображать реальную экологическую ситуацию и прогнозировать ее развитие, чтобы позволит принимать оперативные меры по снижению негативного воздействия на окружающую среду.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МУТНОСТИ ВОДЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА ПО ДАННЫМ OLI/OLI-2 LANDSAT-8/9 И MSI SENTINEL-2A/2B

Жаданова П.Д.

Институт космических исследований РАН

Получение количественной информации о физических и гидрооптических параметрах морской среды на основе данных дистанционного зондирования является одной из актуальных задач спутниковой океанологии. Важным также является понимание того, как выбор спутниковых данных, полученных с различных аппаратов дистанционного зондирования, влияет на конечный результат обработки.

В данной работе мы сравниваем результаты обработки синхронных данных, полученных от спутниковых приборов OLI-2 Landsat-8/9 и MSI Sentinel-2A/2B. Для этого были рассмотрены такие алгоритмы определения мутности воды и концентрации взвешенного вещества, как Dogliotti и Nechad. Наши исследования проводились для следующих прибрежных зон: река Мзымта (северо-восточная часть Черного моря), реки Терек и Сулак (северо-западная часть Каспийского моря), а также река Риони (восточная часть Черного моря). Для каждой из исследуемых областей были выбраны дни синхронных пролетов спутниковых аппаратов OLI-2 Landsat-8/9 и MSI Sentinel-2A/2B в разные дни и в разные месяцы, чтобы охватить различные значения мутности воды в разные временные интервалы. Это позволило нам более точно оценить влияние выбора данных на конечный результат обработки и понять, как различные спутниковые аппараты влияют на полученные характеристики морской среды.

В результате исследования были получены диаграммы сравнения значений мутности воды и концентрации взвешенного вещества для спутников Landsat – 8/9 и Sentinel – 2A/2B. Были рассчитаны различные критерии качества результатов такие, как MAD (Mean Average Difference), MARD (Mean Absolute Relative Difference), RMSD (Root Mean Squared Difference). Получена достаточно высокая корреляция значений мутности воды и концентрации взвешенного вещества, рассчитанных для спутников Landsat – 8/9 и Sentinel – 2A/2B. Выявлено, что для слабо замутненных вод MAD составляет $\sim 1-5$ NTU, MARD $\sim 10\sim 15\%$, RMSD $\sim 1-5$ NTU. Для сильно замутненных вод показатели качества несколько отличаются: MAD составляет $\sim 10-20$ NTU, MARD $\sim 15\sim 30\%$, RMSD $\sim 15 - 30$ NTU.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00124.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БАССЕЙНОВ КРУПНЫХ РЕК С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМОВ СПУТНИКОВОГО РАДИОТЕПЛОВИДЕНИЯ

Илларионова Ю.А.

Институт космических исследований РАН

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

В докладе рассматривается методика анализа гидрологического режима территорий России с континентальным климатом по данным спутникового радиотеплового мониторинга. Данная методика открывает возможность заблаговременного прогноза увеличения уровня воды в реках и предупреждения наводнений там, где возможности прямых методов регистрации осадков ограничены или полностью отсутствуют. Методика позволяет рассчитать элементы баланса атмосферной влаги над выделенной территорией: запасённый над поверхностью водяной пар; количество влаги, перенесенной атмосферой через охватывающий территорию водосбора контур; общее количество выпавших осадков за заданный интервал времени.

В качестве объекта исследований в работе рассмотрены водосборы крупных рек: Лены, Енисея и Печоры. Контурные границы водосборов были подобраны на основе многолетней статистики осадков по данным реанализа. Временной интервал наблюдений гидрологического режима был выбран с 2012 по 2020 год. В качестве данных спутникового радиотеплового мониторинга были выбраны измерения SSMIS (спутники DMSP F16, F17 и F18).

ФОТОМОНИТОРИНГ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ

Китайн В.В., Иванов В.А.

ГБОУ "Воробьевы Горы"

Для изучения полярных сияний и связанных с ним процессов используют фотомониторинг. Он позволяет исследовать пространственно-временные вариации полярных сияний.

Фотомониторинг - это процесс систематического наблюдения и записи изменений в окружающей среде, используя фотографии.

Для фотомониторинга полярных сияний используются камеры всего неба типа "рыбий глаз". Изображения полярных сияний, снятые с помощью цифровых камер могут предоставить информацию об энергии высыпающихся авроральных электронов из космоса; эта способность делает использование цифровых камер более осмысленным. Чтобы поддержать применение цифровых камер учёные даже создают программы с использованием искусственного интеллекта, который отслеживает появления полярного сияния.

Также по данным камер строятся кеограммы - распределение интенсивности свечения дискретных и диффузных сияний, а также ночного неба в пространстве и времени. С их помощью можно отслеживать информацию об изменении яркость, размера и локализации различных форм сияний в зависимости от времени суток и геомагнитной активности, по данным параметрам можно оценить вклад частиц в соответствующие формы свечения

Сети фотомониторинга полярных сияний существуют как и у нас в стране на базе Полярного Геофизического института, так и за рубежом, например сеть THEMIS наблюдает за белыми полярными сияниями над североамериканским континентом от Канады до Аляски. Массив состоит из 20 камер, охватывающих большую часть аврорального овала с разрешением в один километр.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА СОБЫТИЙ ЭЛЬ-НИНЬО (ЛА-НИНЬЯ) ПО ДАННЫМ СОСТАВЛЯЮЩИХ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ЗЕМЛИ НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ АТМОСФЕРЫ

Кошель А.А., Червяков М.Ю.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

Изучение механизмов событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья является необходимым для прогнозирования экстремальных погодных явлений. Одним из методов выявления событий Эль-Ниньо является мониторинг аномалий температуры поверхности океана (АТПО). В данной работе рассматривается связь между АТПО и составляющими радиационного баланса Земли в тропической части Тихого океана.

В работе использовались данные радиометра ИКОР-М. Прибор предназначен для измерения отраженной коротковолновой радиации в диапазоне 0,3-4,0 мкм на верхней границе атмосферы. Эти данные позволяют получать значения альbedo и поглощенной солнечной радиации (ПКР) [1].

Радиометр был установлен на борту спутника «Метеор-М» № 1, который был выведен на орбиту в 2009 году. Аналогичный прибор ИКОР-М был установлен на борту спутника «Метеор-М» № 2, который был запущен в августе 2014 г. В августе 2014 г. приборы на спутниках проработали совместно, что позволило установить соответствие их шкал [2].

Программа наблюдений была завершена в 2019 году. Были учтены дополнительные коэффициенты, в результате был получен почти десятилетний архив данных составляющих радиационного баланса Земли [3].

За период работы радиометра наблюдалось три события Эль-Ниньо (в 2009-2010 гг., 2015-2016 гг. и 2018-2019 гг.) Используя данные ПКР и альbedo, была оценена возможность обнаружения этого явления в Тихом океане с 2010 по 2019 год [4].

Были рассчитаны отклонения от среднемесячных значений альbedo и температуры поверхности океана по данным архива ERSST [5], для устранения сезонности в рядах данных наблюдений. Наибольшая корреляция величин АТПО и отклонений альbedo была в регионах 3.4 и 4 (коэффициенты корреляции были равны 0,58 и 0,68 соответственно).

Литература:

[1] Скляр Ю.А., Воробьев В.А., Котума А.И., Червяков М.Ю., Фейгин В.М. Алгоритм обработки данных наблюдений уходящей коротковолновой радиации с ИСЗ "Метеор-М" № 1 // // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. №3. С. 83-90

[2] Богданов, М.Б., Воробьев В.А., Котума А.И., Червяков М.Ю. Связь шкал измерителей коротковолновой отраженной радиации ИКОР-М ИСЗ "Метеор-М" № 1 и № 2 // // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13, № 4. С. 252.

[3] Богданов М.Б., Червяков М.Ю., Кошель А.А. Десятилетний ряд глобального распределения альbedo по данным ИСЗ «Метеор-М» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. №2. С. 243–251.

[4] Червяков М.Ю., Спирихина А.А. Мониторинг событий Эль-Ниньо (Ла-Нинья) в Тихом океане по данным спутниковых радиометров ИКОР-М / М. Ю. Червяков, // Из-

вестия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2019. Т. 19, вып. 1. С. 35-41.

[5] Climate Prediction Centre [Электронный ресурс] [сайт] URL: <http://www.cpc.ncep.gov/>. -Загл. с экрана. -Яз. англ.

УЧЁТ ВОДНОСТИ РЕК ПРИ ВЫБОРЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Кравчук М.В., Михайлова Н.М.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

На сегодняшний день существует несколько основных способов оцифровки рек для определения горизонтальных русловых деформаций. Первый способ заключается в оцифровке бровки берега вручную. Этот способ наиболее точный. Второй способ комбинированный, основан на применении автоматической оцифровки (классификации изображения) и последующей корректировке линии бровки. При использовании первых двух способов горизонтальные деформации определяются по смещению бровки берега. Третий способ предполагает после автоматической или комбинированной (полуавтоматической) оцифровки проведение средней линии по реке, при этом деформации определяются по её смещению.

Принципиальное значение при автоматической оцифровке для последующего определения горизонтальных русловых деформаций имеет уровень воды в реке. Выявление русловых деформаций производится по снимкам со схожими уровнями воды [Михайлова и др., 2023]. В качестве таковых не могут рассматриваться уровни половодья и высоких паводков, т.к. в этот период может оказаться затоплена бровка низкой поймы. Оптимальным для поставленной задачи является использование меженных уровней. Они наблюдаются намного чаще и характеризуются меньшей степенью изменчивости, также при низких уровнях бровка поймы хорошо дешифрируются. Вдобавок к этому, интенсивность русловых процессов в меженный период значительно более низкая или горизонтальные деформации отсутствуют. Все это приводит к необходимости подбора разновременных спутниковых снимков с меженными уровнями, близкими по значению. Кроме того, на реках, расположенных на одном спутниковом снимке водность может быть разная (характерно для рек горных и предгорных территорий), поэтому второй задачей является подбор снимков, где на всех реках одновременно наблюдается межень. Простое использование уровней расхода $n\%$ -обеспеченности не позволяет решить задачу подбора снимков наиболее оптимальным образом.

В связи для подбора необходимых спутниковых снимков разработана программа с использованием алгоритма (реализован на R и Python), учитывающего как само значение уровня воды, так и степень его изменчивости. Данная программа позволяет определить периоды с одинаковой фазой водного режима (межень или паводок/половодье) на всех реках, расположенных на снимке и необходимых для анализа деформаций, а также периоды (даты) с одинаковыми уровнями воды на определенном участке реки в разные годы/интервалы времени.

ВОЗМОЖНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕЖБИЩ МОРЖЕЙ В АРКТИКЕ С ПОМОЩЬЮ ОТКРЫТЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Литвинович Н.В.

НИУ Московский авиационный институт

С 2010-х годов спутниковые снимки активно применяются для слежения за дикими животными и птицами в труднодоступных районах. В 2011-2014 годах специалисты компании «СканЭкс», группы РИСКСАТ, ученые ИПЭЭ РАН им. Северцова и природоохранных организаций впервые разработали и апробировали методики обнаружения лежбищ моржей по спутниковым снимкам субметрового разрешения, а с 2019 года – и по открытым оптическим снимкам среднего пространственного разрешения [1-2]. Проблемой для систематических оптических наблюдений за моржами из космоса являются неблагоприятные метеоусловия и недостаточная освещенность районов исследования. Решением описанной проблемы является использование открытых радиолокационных изображений (РЛИ) среднего и низкого разрешения. Известные результаты радиолокационной съемки лежбищ моржей с помощью коммерческих РСА высокого разрешения (1-3 м) не позволяют осуществлять систематический спутниковый мониторинг лежбищ [3].

Целью работы является оценка возможности применения открытых спутниковых РЛИ среднего и низкого пространственного разрешения (10-40 м) для обнаружения крупных скоплений моржей на песчаных побережьях Арктики путем сравнительного анализа оптических снимков и РЛИ из открытых источников.

В качестве района исследования были выбраны крупные лежбища лаптевского подвида моржа на острове Песчаный в море Лаптевых, а также тихоокеанского подвида моржа в бухте Кэнискин на Чукотке. На первом этапе был проведен поиск и отобраны пары оптических снимков Sentinel-2 и РЛИ Sentinel-1 на одни и те же или близкие даты на район исследования.

РЛИ спутников Sentinel-1 были получены в интерферометрическом режиме IW, уровень обработки GRD (пространственное разрешение 20 м, межпиксельное расстояние 10 м). Как показали выполненные исследования, на РЛИ Sentinel-1 наблюдаются крупные лежбища моржей на песчаном берегу острова. Факт присутствия скоплений моржей подтвержден ранее отобранными оптическими снимками Sentinel-2, полученными на одну и ту же дату или на соседние даты.

Установлено, что средняя площадь лежбищ моржей на РЛИ меньше, чем площадь на оптических снимках в среднем на 13,6%. Выявленное отклонение можно объяснить разными физическими принципами формирования изображений.

Для оценки возможности выделения лежбищ моржей на различном фоне по величине удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР) на РЛИ были выделены тестовые полигоны, в которые входили лежбища моржей, водная поверхность и участок береговой линии. С использованием специального программного обеспечения с открытым исходным кодом SNAP были рассчитаны величины УЭПР тестовых векторных полигонов для каждой из двух поляризации (ВВ и ВГ).

По данным расчетов видно, что на РЛИ на ВГ-поляризации лежбищу моржей соответствует наиболее высокий диапазон значений УЭПР и этот диапазон не перекрывается с диапазонами значений УЭПР, соответствующими другим поверхностям, что позволяет четко идентифицировать местонахождение и контур лежбища на снимке. Это обусловле-

но высокой чувствительностью кросс-поляризации к объемному рассеянию, вызванному сложной формой поверхности, которую образуют туловища моржей на лежбище.

На РЛИ на ВВ-поляризации диапазон значений УЭПР, соответствующий лежбищу моржей, полностью перекрывается с диапазоном значений УЭПР, соответствующему влажному участку береговой линии, ввиду чего данные поверхности не различимы друг от друга. Поэтому для обнаружения лежбищ моржей на песчаных побережьях предпочтительно использовать радиолокационную съемку, полученную на кросс-поляризации, при этом съемку на согласованной поляризации можно использовать как вспомогательную для анализа состояния окружающей местности. Аналогичные результаты были получены по крупноразмерному лежбищу моржей тихоокеанской популяции на Чукотке.

Для установления наличия или отсутствия крупных лежбищ моржей возможно также использовать РЛИ Sentinel-1, которые были получены в широкозахватном режиме EW с пространственным разрешением 40 м и полосой захвата 400 км. Использование данных в режиме EW совместно с режимом IW позволяет увеличить период наблюдения за крупными лежбищами вне зависимости от погодных условий.

В целом исследования показали, что открытые спутниковые РЛИ среднего и низкого пространственного разрешения (10-40 м) могут быть использованы для обнаружения крупных скоплений моржей на песчаных побережьях Арктики.

ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ ДЕПОНИРОВАННОГО УГЛЕРОДА ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЧАСТИ РЕГИОНА ЗАПАДНОЙ АФРИКИ ПО РАЗЛИЧНЫМ ПРОДУКТАМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Максимович Н.В., Тарасов А.А.

Санкт-Петербургский государственный университет

В последнее время в связи с изменением климата всё большую актуальность приобретают проблемы, связанные с растущим количеством выбросов углерода в атмосферу. Так, по мере развития отрасли дистанционного зондирования Земли, появляются новые способы мониторинга связанного углерода, сохранение которого в своём первоначальном состоянии играет важную роль в сохранении стабильности экосистем. В частности, указанная проблема актуальна для Африки, где под угрозой исчезновения находятся мангровые леса [1-2], несмотря на усилия по защите от их использования в сельскохозяйственных, строительных целях.

В 2021 году коллективом авторов был представлен набор данных Carbon Stocks of Individual Trees in African Drylands: Allometry and Output Data [3], который содержит аллометрически оцененные запасы углерода в кронах 9 947 310 221 дерева в зоне осадков от 0 до 1000 мм в год в Африке к северу от экватора и к югу от пустыни Сахара. Он включает в себя информацию как об общей массе углерода, так и отдельно о её составляющих: древесной, а также хранящейся в корнях и листве. Этот набор был получен на основе 326 523 мультиспектральных спутниковых снимков Махаг с разрешением 50 см. Метаданные, полученные в результате их обработки по всей исследуемой территории, представлены в формате georackage (.gpkg). Кроме того, полевые измерения в результате разрушительных урожаев, используемые для получения уравнений аллометрии, содержатся в файлах значений, разделенных запятыми (*.csv). Заявленная неопределенность оценок выбросов углерода составляет $\pm 19,8\%$.

Также в последнее время большое развитие получили проекты, занимающиеся классификацией земной поверхности по различным видам землепользования/земного покрытия (land use/land cover). Так, можно выделить разработки Европейского космического агентства ESA Worldcover 2020 и ESA Worldcover 2021 [4-5]. В рамках этих проектов авторы выделяют, в частности, мангровые и иные леса, имеющие большое значение в существующем на планете балансе экосистем.

Вышеописанные материалы дают возможность проводить большой спектр исследований, касающиеся объемов депонирования углерода и оценки негативного влияния сведения лесов для региона западной Африки. Так, авторами на основе вышеупомянутых данных Carbon Stocks of Individual Trees in African Drylands: Allometry and Output Data и согласно классификации землепользования ESA Worldcover 2021 была проведена работа по выявлению объемов связанного углерода (как общей массы, так и древесного, а также хранящегося в корнях и листве) отдельно в мангровых (Mangroves) и иных лесах (в данной области тропических - Tree cover), а также на некоторых других территориях вроде лугов (Grassland) или травянистых болот (Herbaceous wetland). Область нашего интереса

представлена Сенегалом, Гамбией, Гвинеей-Бисау и Сьерра-Леоне - той территорией, где наиболее представлены в пределах упомянутого набора данных затронутые выше леса.

Литература:

[1] Bunting P. et al. Global Mangrove Watch: Monthly Alerts of Mangrove Loss for Africa //Remote Sensing. – 2023. – Т. 15. – №. 8. – С. 2050.

[2] Friess D. A. et al. The state of the world’s mangrove forests: past, present, and future //Annual Review of Environment and Resources. – 2019. – Т. 44. – С. 89-115.

[3] Carbon Stocks of Individual Trees in African Drylands: Allometry and Output Data. Электронный ресурс: https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsvviewer.pl?ds_id=2117

[4] ESA WorldCover 2020. Электронный ресурс:<https://worldcover2020.esa.int/>

[5] ESA WorldCover 2021. Электронный ресурс: <https://worldcover2021.esa.int/>

МЕТОД ДИСТАНЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО ДАННЫМ ЗОНДИРОВАНИЯ АКТИВНЫМИ И ПАССИВНЫМИ СЪЕМОЧНЫМИ СИСТЕМАМИ

Малышкин Т.Е., Гордеев Н.А.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Высокоточная и достоверная идентификация разрывных нарушений земной поверхности является актуальной задачей, ввиду планирования строительных работ, исследований месторождений полезных ископаемых, а также прогнозирования опасных геологических событий (землетрясения) [1]. Определение разрывов выполняется с использованием методов автоматического управляемого тематического анализа данных дистанционного зондирования Земли мультиспектральных и радиолокационных съемочных систем. Разрабатываемые программные решения основаны на открытых библиотеках языка программирования Python [2].

Для проведения исследования был выбран участок Горного Алтая ввиду повышенной сейсмической активности в данном регионе, а также высокой степени геологической и геофизической изученности. Далее, были определены параметры мультиспектральных (МСС), а также данных, получаемых в результате съемок с применением радиолокационных систем ДЗЗ с синтезированной апертурой по обнаружению региональных разрывов. В процессе обработки МСС снимков космического аппарата "Landsat-8/9" и серии качественных экспериментов была разработана функция растровой алгебры [2] или "Деформационный индекс": $Alt = SWIR1 / SWIR2$, где SWIR1 - значение отраженного излучения в 1-м ближнем инфракрасном диапазоне (1.57-1.65 мкм); SWIR2 - во 2-м, соответственно (2.11-2.29 мкм). Диапазон числовых значений индекса, соответствующий нахождению разлома земной поверхности соответствует от 1,5 до 2,5 включительно. В результате интерпретации значений было получено, что в данному диапазону соответствуют обводненные участки, а также температурные аномалии, что косвенно указывает на наличие разломов земной поверхности. Сравнение полученных данных с региональной сетью разломов ГИН РАН и цифровой моделью рельефа (параметр асимметричности долины) подтвердило данное предположение.

Кроме обводнений и аномалий температуры, о наличии разрывных нарушений свидетельствуют резкие градиенты вертикальных скоростей движения. Высокоточное (до 1 мм) определение реализуется с применением технологии дифференциальной радиолокационной интерферометрией [2]. Исходными данными служит двухпроходная съемка с КА "Sentinel-1b" (разрешение 10 м/пк). Проводя анализ интерферограммы и развертывая фазу отраженного сигнала были созданы карты смещений поверхности Земли, которые подтвердили первоначальную гипотезу и уточнили информацию, полученную от пассивных сканирующих систем.

Сочетание данных, полученных с помощью космической съемки активными и пассивными сенсорами, позволяет с высокой точностью идентифицировать региональные разломы земной поверхности.

Литература:

[1] Молчанов А.Б., Гордеев Н.А. Автоматизация метода реконструкции неотектонических напряжений Л.А. Сим с применением алгоритмов компьютерного зрения // Труды ФНС. Из-во: ГИ КНЦ РАН. Апатиты. 2021. № 18. С. 301–304. DOI: 10.31241/FNS.2021.18.056.

[2] Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений // Техносфера. Москва. 2010. 560 стр. ISBN: 978-5-94836-244-1.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ УГЛЕРОДА НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТНЫХ ПРОДУКТОВ ПО ДАНЫМ MODIS

Матвеев А.М., Барталёв С.А.

Институт космических исследований РАН

В работе проведён анализ показателей валовой и чистой первичной продукции (англ. Gross и Net Primary Production, или GPP и NPP соответственно) углерода на основе стандартного продукта ДЗЗ MOD17 [Running, Zhao, 2021] по различным классам растительного покрова на территории России [Барталёв и др., 2016].

Результат сопоставления среднесезонных показателей MOD17A3H — при практически идентичных результатах для обеих спутниковых платформ (Terra и Aqua) — показал, что наибольшими показателями чистой первичной продукции (NPP) обладают лиственные и смешанные леса ($5 \pm 0,7 - 1,4$ т (С)/га) России; чистая продукция луговых сообществ соразмерна со светло- и темнохвойными лесами, а наиболее низкие значения NPP среди различных классов леса характерны для лиственничников.

Для большинства классов растительности характерно нормальное распределение показателей GPP и NPP. Исключение составляет GPP лиственничников и продукция болотных биомов; в последние входит множество подклассов разного генезиса [Шинкаренко, Барталёв, 2023]. Была рассчитана среднесезонная чистая продукция углерода на территории России.

На примере гранулы MODIS h23v02 (большая часть Якутии) проведен анализ восьмидневных показателей GPP и NPP (NPP без учёта древесины) MOD17A2H по классу лиственничников и их сопоставление с ежедневными оценками эмиссии от природных пожаров согласно продуктам GFAS v1.2, FEER v1.0-G1.2 и FINN v2.5 [Kaiser et al., 2012; Ichoku, Elisson, 2014; Wiedinmyer et al., 2023]. Пиксели, содержащие эмиссии от пожаров, в среднем отличаются более высокими показателями продуктивности до пожара и более низкими после пожара. Однако, сопоставление ежегодных наблюдений (например, 2020 и 2021 гг.) показывает, что влияние погодных условий может иметь бóльший эффект на динамику NPP в сравнении с пожарами. Общее среднесезонное распределение указывает на бóльшую суммарную годовую продукцию в пикселях, в которых за период наблюдений пожары зафиксированы не были. Однако в некоторые годы (например, 2017 г.) суммарный показатель NPP практически идентичен для пикселей с и без эмиссии. Значимой корреляции эмиссии углерода и до- и постпожарной разности GPP или NPP не наблюдается.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Литература:

[1] Running S.W., Zhao M. User's Guide Daily GPP and Annual NPP (MOD17A2H/A3H) and Year-end Gap-Filled (MOD17A2HGF/A3HGF) Products NASA Earth Observing System

MODIS Land Algorithm (For Collection 6.1). V. 1.1. 11.03.2021.

URL: <https://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdf/MOD17C61UsersGuideV11Mar112021.pdf>.

[2] Барталёв 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. 208 с.

[3] Шинкаренко С.С., Барталёв С.А. Применение данных дистанционного зондирования для широкомасштабного мониторинга водно-болотных угодий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 6. С. 9–34. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-6-9-34.

[4] Kaiser J.W., Heil A., Andreae M.O., Benedetti A., Chubarova N., Jones L., Morcrette J.-J., Razinger M., Schultz M.G., Suttie M., van der Werf G.R. Biomass burning emissions estimated with a global fire assimilation system based on observed fire radiative power. *Biogeosciences*, 2012. V. 9. P. 527–554. DOI: 10.5194/bg-9-527-2012.

[5] Ichoku C., Ellison L. Global top-down smoke-aerosol emissions estimation using satellite fire radiative power measurements. *Atmos. Chem. Phys.*, 2014. V. 14. P. 6643–6667. DOI: 10.5194/acp-14-6643-2014.

[6] Wiedinmyer C., Kimura Y., McDonald-Buller E.C., Emmons L.K., Buchholz R.R., Tang W., Seto K., Joseph M.B., Barsanti K.C., Carlton A.G., Yokelson R. The Fire Inventory from NCAR version 2.5: an updated global fire emissions model for climate and chemistry applications. *Geosci. Model Dev.*, 2023. V. 16. P. 3873–3891. DOI: 10.5194/gmd-16-3873-2023.

ВОЗМОЖНОСТИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ОЦЕНКИ ВОДНОСТИ РАВНИННЫХ РЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДЗЗ

Мухамеджанов И.Д.

Институт космических исследований РАН

Гидрологические прогнозы являются одним из важнейших аспектов исследования межсезонной и межгодовой динамики русла рек. По признаку заблаговременности, типы таких прогнозов можно разделить (Попов, 2979) на краткосрочные (не превышает 10-15 суток) и долгосрочные (от 1-2 до 6-8 месяцев). Для того, чтобы произвести прогноз, необходимо решить задачу поиска закономерностей в некоторых временных рядах. Классические методы основаны на использовании наземных данных, а именно на суточных стоках, получаемых с наземных измерительных станций (гидропостов).

В работе для экспериментов были применены локальные краткосрочные прогнозы на русле Амударьи около наземного измерительного пункта Керки (Туркменистан). Базовым структурным элементом решения являются виртуальные полигоны, или космические гидропосты - КГП (Мухамеджанов и др., 2022), основная задача которых заключается в формировании качественных временных рядов наблюдений. В данном случае в роли величины, используемой в наблюдениях, была выбрана нормированная на площадь полигона площадь водного зеркала, рассчитанная по индексу MNDWI (Xu, 2006) в пределах КГП. Благодаря эмпирически установленной линейной зависимости величины площади водного зеркала и объема суточного стока в результате ранее проведенных экспериментов (Мухамеджанов и др., 2022), в качестве альтернативной гипотезы было выбрано предложение "Величины объема суточного речного стока и площади водной поверхности коррелируют". Такой подход позволяет использовать результаты подспутниковых наблюдений, полученных после применения алгоритма фильтрации облачных наблюдений (Константинова, 2022) по оптическим данным космических аппаратов Landsat-7, 8, Sentinel-2A, B, в подходах и решениях, использующих временные ряды наземных измерений как основной источник данных. Проблема выбора методики прогнозирования оценки водности обусловлена отсутствием регулярного ряда наблюдений, поскольку получение ежедневных данных о площади водного зеркала на виртуальных гидропостах с использованием спутниковых снимков вышеупомянутых космических аппаратов не представляется возможным. Для восполнения ряда наблюдений до регулярного в работе проводилась интерполяция значений площади по MNDWI полиномом, получая таким образом сглаженную кривую площади водной поверхности.

За основу решения в исследовании была выбрана схема прогноза с помощью определения ординат кривой добегаания путем решения обратной задачи (Руководство, 1989). Цель данной схемы заключается в прогнозе $N+1$ значения ряда наблюдений нижнего КГП «В» на основе N предыдущих значений верхнего КГП «А». В качестве величины для расчетов предложен в исходном методе предложен суточный сток, измеряемый в м³/сек. Выбранная гипотеза о корреляции суточных стоков и площади водного зеркала позволяет модифицировать схему для нормированной площади водной поверхности. В ходе работы был также создан программный модуль, написанный на языке Python, позволяющий строить графики кривых добегаания и кривые краткосрочных прогнозов нормированной площади на нижнем по течению КГП «В» на несколько недель вперед. Стоит отметить, что, если КГП отвечает правилам установки (Мухамеджанов и др., 2022), то значимые прогнозируемые

значения остаются в «коридоре» допустимой ошибки.

Результаты, представленные в работе, получены с использованием развиваемого в ИКИ РАН сервиса спутникового мониторинга EcoSatMS (<http://suvo.geosmis.ru>). Функционирование сервиса осуществляется с использованием ресурсов Центра коллективного пользования "ИКИ-Мониторинг" (<http://ckp.geosmis.ru/>) (Loupian et al., 2022), развиваемого и поддерживаемого в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8). Созданный модуль в дальнейшем планируется интегрировать в систему EcoSatMS для реализации инструмента анализа данных в картографическом интерфейсе.

Литература:

- [1] Попов Е.Г. Гидрологические прогнозы. Гидрометеорологическое издательство. Ленинград. 1979.
- [2] Мухамеджанов И.Д., Константинова А.М., Лупян Е.А., Умирзаков Г.У. Оценка возможностей спутникового мониторинга динамики речного стока на примере анализа состояния реки Амударьи // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 1. С. 87-103. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-87-103.
- [3] Xu, Hanqiu. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. International Journal of Remote Sensing 27, No. 14 (2006): 3025-3033. DOI: 10.1080/01431160600589179.
- [4] Константинова А.М. Алгоритм автоматической фильтрации облачных данных для решения задач объектного дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 4. С. 88-99. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-88-99.
- [5] Руководство по гидрологическим прогнозам. Выпуск 2. Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках. Гидрометеоздат. Ленинград. 1989.
- [6] Loupian E.A., Bourtsev M.A., Proshin A.A., Kashnitskiy A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A.M., Kobets D.A., Radchenko M.V., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. DOI: 10.3390/rs14010077.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ БАЛАНСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПО ДАННЫМ ДДЗ

Павлов С.А.

Институт космических исследований РАН

В докладе рассматривается оценка точности измерений балансов парниковых газов в атмосфере с использованием локальных аномалий на территории России.

В статье (Пашинов и др.) предложен новый метод расчета баланса парниковых газов в атмосфере над различными территориями, основанный на вычислительной схеме, замкнутой относительно данных спутниковых измерений концентрации ПГ. В предложенной методике баланс в первую очередь зависит от его притока (оттока) через граничную поверхность этого объема. Данная оценка осуществляется с помощью алгоритмов «оптического потока».

В докладе представлены результаты оценки погрешности получаемого значения. Выполнены расчеты для изолированного источника окиси углерода по различным границам, проведен статистический анализ полученных результатов.

В качестве изолированного источника был выбран пожар, происходивший в июле-августе 2022 года на территории дальневосточного федерального округа России.

Литература:

Е.В. Пашинов и др. Отработка методики балансовых расчётов выбросов парниковых газов по данным спутникового мониторинга на примере крупных лесных пожаров. Институт космических исследований РАН, Москва.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ПЕСКОВ В АРИДНЫХ ЛАНДШАФТАХ

Полтарин В.С.

Институт космических исследований РАН

В настоящем исследовании рассматривается сравнение различных методик машинного обучения в контексте автоматизированной обработки спутниковых данных с целью изучения опустынивания. Опустынивание представляет собой серьезную экологическую проблему, которая требует надежных методов мониторинга и анализа. Использование спутниковых данных для изучения динамики опустынивания и поиска песков предоставляет уникальную возможность применения алгоритмов машинного обучения для автоматической обработки больших объемов информации. В данном исследовании проводится анализ эффективности различных методов машинного обучения в контексте их применения к спутниковым данным для выявления песчаных участков и анализа их динамики, что может иметь важное значение для экологического мониторинга и управления природными ресурсами.

В представленной работе для анализа опустынивания были использованы спутниковые снимки Sentinel-2, предоставляющие высококачественные изображения Земли с высоким разрешением. Для обработки и анализа данных были применены современные инструменты и библиотеки программирования на языке Python, в частности, библиотека scikit-learn, которая предоставляет широкий набор инструментов для работы с данными и реализации алгоритмов машинного обучения.

В качестве моделей машинного обучения рассматриваются ансамблевые методы, преимущество которых заключается в том, что они позволяют объединить множество моделей для получения более точных и устойчивых результатов. Ансамблирование позволяет компенсировать недостатки отдельных моделей и увеличивает обобщающую способность, что особенно важно в условиях изменчивости и разнообразия спутниковых снимков.

Выявлены некоторые положительные и отрицательные качества представленных моделей, а также представлена оценка точности работы моделей.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА НОВЫХ ТЕРРИТОРИЯХ РФ

Пометун Е.Д., Несова А.В., Юрлов Ю.А.

ФГБОУ "Донецкий государственный университет"

В феврале 2023 г. было принято Постановление Правительства РФ №279 от 21.02.2023 г. «Об особенностях применения законодательства Российской Федерации в сфере охраны окружающей среды на территории Донецкой Народной Республики и особенностях организации и осуществления в 2023 - 2026 годах государственного экологического контроля (надзора) на территории Донецкой Народной Республики». Постановление содержит ряд положений, которые на время переходного периода до 01.03.2026 года отменяют или упрощают выполнение требований, связанных с осуществлением хозяйственной и иной деятельности в сфере охраны окружающей среды. Так же предусмотрено, что деятельность субъектов хозяйствования в сфере охраны окружающей среды регулируется нормативными правовыми актами Донецкой Народной Республики (ДНР) по некоторым вопросам, включая экологический мониторинг. Известно, что в РФ экологический мониторинг осуществляется в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 9 августа 2013 года №681 «О государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)». Однако, в соответствии с Постановлением №279, реализация государственного экологического мониторинга в ДНР осуществляется путем организации системы комплексных наблюдений за состоянием окружающей среды, выполнения оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов в соответствии с Постановлением Правительства ДНР от 30 апреля 2020 г. № 22-8 «Об утверждении Порядка организации и осуществления государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга)».

Начиная с октября 2019 года в России по заказу Госкорпорации «Роскосмос» ведется разработка системы национальных стандартов в области данных ДЗЗ из космоса. В настоящее время Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) утвердило ряд национальных стандартов в области данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса, разработанные по заказу Роскосмоса в рамках Федеральной космической программы России на 2016– 2025 годы и программы Союзного государства «Интеграция-СГ».

Т.о., исходя из вышеизложенного, данное направление в сфере экологической политики в области ДЗЗ является актуальным для новых территорий РФ в связи с переходом на законодательство Российской Федерации и интеграцию в российскую систему технического регулирования.

Работа выполнена в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКТР 1023110700153-4-1.6.19;1.6.11;1.6.12).

ОТСЛЕЖИВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРОВ С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Родичев М.Е.

ГБОУ "Воробьёвы горы"

Природные пожары относятся к числу очень опасных и часто повторяющихся чрезвычайных ситуаций. По данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) можно выявить очагов пожара, проанализировать распространение пожара, площадь; оценить экономических ущерб. С помощью ДЗЗ можно предоставлять точные и полные данные о местах возгораний и выгоревших территориях, которые практически невозможно получить с помощью наземных операций, особенно в отдаленных районах с пересеченной местностью.

Чтобы лучше видеть пожары, нам нужно использовать тепловое или ИК-излучение. Приборы спутников настроены на разные типы ИК-излучения: коротковолновый, средневолновый, длинноволновый, сверхдлинноволновый. Многие датчики спутников ДЗЗ считаются мультиспектральными, то есть имеют от 3 до 10 диапазонов; бывают датчики, имеющие сотни и даже тысячи диапазонов и считаются гиперспектральными. Чем уже диапазон длин волн для данного диапазона, тем точнее спектральное разрешение.

Одна из важнейших характеристик спутниковых данных – это пространственное разрешение. Пространственное разрешение – это показатель детальности снимка, чаще всего измеряется в метрах на пиксел. Разрешение указывает, сколько метров реальной местности помещается в одной точке цифрового космического снимка; чем ниже это значение, тем более мелкие объекты можно различить на снимке.

Также существует временное разрешение – это время, необходимое спутнику для завершения оборота по орбите и повторного посещения той же зоны, оно зависит от орбиты, характеристик датчика и ширины полосы обзора.

Среди спутниковых средств мониторинга пожаров я хочу выделить MODIS - спектрорадиометр изображений с умеренным разрешением. Стратегия обнаружения пожара данным аппаратом основана на абсолютном обнаружении пожара (когда сила огня достаточна для обнаружения) и на обнаружении относительно его фона (с учетом изменчивости температуры поверхности и отражения солнечного света). В совокупности приборы снимают всю Землю каждые 1-2 дня.

Есть преемник MODIS - прибор VIIRS, предназначенный для создания продуктов для сбора данных в области наук о Земле. Данные I - диапазона 375m дополняют данные MODIS об обнаружении пожаров; они оба хорошо согласуются при обнаружении горячих точек, но улучшенное пространственное разрешение данных 375m обеспечивает лучшие нахождение пожара на относительно небольших площадях и обеспечивает улучшенное отображение периметра больших пожаров.

Также есть спутник Landsat-8, он оснащен приборами среднего ИК-диапазона, которые можно использовать для картирования пожаров. Данные Landsat-8 продуктивны для отслеживания пожаров, поскольку имеют высокое пространственное разрешение и превосходное качество изображения. Прибор для исследования пожаров OLI использует определенную схему, которая называется pushbroom. В этой схеме используются длинные линейные массивы фотодатчиков, снимающие сразу всю ширину поля зрения спутника – 185 километров.

Спутники Landsat фиксируют расположение и масштабы выгоревших территорий, тяжесть мозаики ожогов и последующее возобновление роста еще долгое время после того, как дым рассеется.

ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ РОССИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПРИБОРА VIIRS

Сайгин И.А., Стыценко Ф.В., Барталев С.А.

Институт космических исследований РАН

Работы по спутниковому картографированию наземных экосистем ведутся в ИКИ РАН на протяжении ряда лет (Барталев и др. 2011, 2016, Егоров и др., 2018). В настоящее время регулярное картографирование наземных экосистем выполняется на основе разносезонных данных радиометра MODIS, установленного на спутниках TERRA и AQUA. В связи с ограниченным сроком службы спутниковых приборов, при планировании долгосрочного и регулярного мониторинга растительности возникает вопрос переноса разработанных методов и технологий для их применения к новым спутниковым данным. Были выполнены работы по использованию данных радиометра VIIRS для картографирования наземных экосистем России.

На основе разносезонных композитных изображений изображений (Егоров и др., 2018) была выполнена классификация наземных экосистем России. Классификация выполнялась методом максимального правдоподобия с применением локально-адаптивного алгоритма LAGMA (Bartalev et al, 2014). В качестве опорной выборки были использованы эталоны, полученные по данным MODIS с применением динамической актуализации выборки. Получена карта наземных экосистем России за 2021 год.

Было выполнено сравнение полученной карты с картой 2021 года, полученной в рамках регулярного картографирования наземных экосистем на основе данных MODIS. В целом была обнаружена схожесть полученных результатов, которая говорит о принципиальной возможности переноса методов картографирования наземных экосистем на данные прибора VIIRS. Оценка покрытой лесом площади, полученная по данным MODIS и VIIRS составила 774 и 762 млн га соответственно, расхождение составило 1.5%. Сумма ошибок первого и второго рода для обобщенного класса покрытой лесом площади составила около 12%. Дальнейшие исследования будут направлены на поиск основных причин полученных расхождений и возможностей их коррекции, а также на возможность развития методов предварительной обработки и использования улучшенных композитных изображений, полученных в разные периоды вегетации.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Литература:

[1] 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. – 208 с.

[2] Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Распознавание пахотных земель на основе многолетних спутниковых данных спектрорадиометра MODIS и локально-адаптивной классификации // Компьютерная оптика. – 2011. –Т. 35, № 1. – С. 103–116.

[3] 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.

[4] 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. No.1. P.55–64.

ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ ДЕПОНИРОВАННОГО УГЛЕРОДА ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЧАСТИ РЕГИОНА ЗАПАДНОЙ АФРИКИ ПО РАЗЛИЧНЫМ ПРОДУКТАМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Тарасов А.А., Максимович Н.В.

Санкт-Петербургский государственный университет

В последнее время в связи с изменением климата всё большую актуальность приобретают проблемы, связанные с растущим количеством выбросов углерода в атмосферу. Так, по мере развития отрасли дистанционного зондирования Земли, появляются новые способы мониторинга связанного углерода, сохранение которого в своём первоначальном состоянии играет важную роль в сохранении стабильности экосистем. В частности, указанная проблема актуальна для Африки, где под угрозой исчезновения находятся мангровые леса [1-2], несмотря на усилия по защите от их использования в сельскохозяйственных, строительных целях.

В 2021 году коллективом авторов был представлен набор данных Carbon Stocks of Individual Trees in African Drylands: Allometry and Output Data [3], который содержит аллометрически оцененные запасы углерода в кронах 9 947 310 221 дерева в зоне осадков от 0 до 1000 мм в год в Африке к северу от экватора и к югу от пустыни Сахара. Он включает в себя информацию как об общей массе углерода, так и отдельно о её составляющих: древесной, а также хранящейся в корнях и листе. Этот набор был получен на основе 326 523 мультиспектральных спутниковых снимков Махаг с разрешением 50 см. Метаданные, полученные в результате их обработки по всей исследуемой территории, представлены в формате georackage (.gpkg). Кроме того, полевые измерения в результате разрушительных урожаев, используемые для получения уравнений аллометрии, содержатся в файлах значений, разделенных запятыми (*.csv). Заявленная неопределенность оценок выбросов углерода составляет $\pm 19,8\%$.

Также в последнее время большое развитие получили проекты, занимающиеся классификацией земной поверхности по различным видам землепользования/земного покрытия (land use/land cover). Так, можно выделить разработки Европейского космического агентства ESA Worldcover 2020 и ESA Worldcover 2021 [4-5]. В рамках этих проектов авторы выделяют, в частности, мангровые и иные леса, имеющие большое значение в существующем на планете балансе экосистем.

Вышеописанные материалы дают возможность проводить большой спектр исследований, касающиеся объемов депонирования углерода и оценки негативного влияния сведения лесов для региона западной Африки. Так, авторами на основе вышеупомянутых данных Carbon Stocks of Individual Trees in African Drylands: Allometry and Output Data и согласно классификации землепользования ESA Worldcover 2021 была проведена работа по выявлению объемов связанного углерода отдельно в мангровых (Mangroves) и иных лесах (в данной области тропических - Tree cover), а также на некоторых других территориях вроде лугов (Grassland) или травянистых болот (Herbaceous wetland). Область нашего интереса представлена Сенегалом, Гамбией, Гвинеей-Бисау и Сьерра-Леоне - той территорией, где

наиболее представлены в пределах упомянутого набора данных затронутые выше леса.

Литература:

[1] Bunting P. et al. Global Mangrove Watch: Monthly Alerts of Mangrove Loss for Africa //Remote Sensing. – 2023. – Т. 15. – №. 8. – С. 2050.

[2] Friess D. A. et al. The state of the world’s mangrove forests: past, present, and future //Annual Review of Environment and Resources. – 2019. – Т. 44. – С. 89-115.

[3] Carbon Stocks of Individual Trees in African Drylands: Allometry and Output Data. Электронный ресурс: https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsvviewer.pl?ds_id=2117

[4] ESA WorldCover 2020. Электронный ресурс: <https://worldcover2020.esa.int/>

[5] ESA WorldCover 2021. Электронный ресурс: <https://worldcover2021.esa.int/>

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ЗА 2023

Ткачук М.О.

НИУ Московский авиационный институт

Индустрия дистанционного зондирования является катализатором развития наук о Земле, многих отраслей экономики, образования, военного дела и т.д. Поскольку состояние отрасли напрямую отражает состояние различных направлений развития стран-операторов (стран, запустивших спутники), изучение тенденций в отрасли дистанционного зондирования и изменений в составе орбитальных группировок космических аппаратов является актуальной задачей в настоящее время. За последние несколько лет развитие отрасли дистанционного зондирования Земли свидетельствует не только о количественном увеличении числа запусков спутников дистанционного зондирования различными странами, но и о количестве спутников в группировках конкретных запусков.

В данной статье рассматривается дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) космическими аппаратами, оснащенными различными типами съемочного оборудования [4]. Эту технологию можно охарактеризовать как незаменимый инструмент для исследования и постоянного наблюдения за планетой, позволяющий эффективно распределять и использовать ресурсы планеты.

В ближайшие годы тенденция к созданию национальных систем ДЗЗ охватит все новые страны, что будет способствовать дальнейшему развитию космической отрасли ДЗЗ и рынка услуг по запуску. Кроме того, быстро увеличивается количество стран-операторов систем ДЗЗ и количество спутников ДЗЗ на околоземных орбитах, что значительно увеличивает объем данных для быстрого и эффективного анализа отрасли.

Целью работы является заполнение самой актуальной информацией и применение ранее созданной информационно-справочной системы (ИСС) запусков КА ДЗЗ. ИСС решает проблему, связанную со сложностью анализа большого и постоянно растущего объема данных, полученных в результате запусков спутников ДЗЗ. Эта система была разработана, чтобы сократить время, необходимое для поиска актуальной информации в области запусков ДЗЗ.

В информационно-справочной системе информация уже хранится и представляется пользователю в соответствии с некоторыми формально установленными характеристиками.

Справочная система несет в себе две основные функции:

- сбор и хранение информации;
- поиск и выдача информации пользователю.

Практическое значение предлагаемой ИСС заключается в определении наиболее востребованных сегментов рынка данных ДЗЗ и типов записывающего оборудования, на которых сосредоточены ведущие космические державы и компании, занимающиеся разработкой спутников ДЗЗ. Кроме того, ИСС помогает определить потенциальные рынки для создания национальных систем ДЗЗ в сотрудничестве с Россией.

Вся информация, содержащаяся в ИАС распределена на три категории (по массе запускаемых спутников):

1. Крупногабаритные КА массой >100 кг;
2. Микроспутники массой от 10 до 100 кг;
3. Наноспутники массой до 10 кг.

Далее, информация, распределенная по массе запускаемых спутников, классифицируется еще по ряду параметров [2,3,4]:

- по назначению;
- по государственной принадлежности;
- по стране-оператору;
- по орбитальным и массогабаритным параметрам;
- по характеристикам съёмочной аппаратуры ДЗЗ.

По результатам анализа, полученным с помощью данной информационно-справочной системы, было проведено сравнение с результатами ИСС предыдущего года, и посредством чего, составлены графики и таблицы, для более наглядного и простого получения информации. Проводя сравнительный анализ информационных систем, можно заметить, что база 2021 прошла модернизацию.

Для задач анализа итогов запусков космических аппаратов ДЗЗ в 2023 году, как упоминалось выше, была использована информационно-аналитическая система (ИАС) КА ДЗЗ. Благодаря ей можно наглядно представить данные запущенных спутников, их основные характеристики, а также своевременно выявлять тенденции в развитии аппаратуры спутников для ДЗЗ и определять приоритетные задачи национальных программ по ДЗЗ, основываясь на выявлении ежегодных изменений в группировках спутников разных стран.

АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ В ОБРАЗОВАНИИ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ

Фомин Э.А.

ГБОУ города Москвы "Воробьевы горы"

Серебристые облака — самые высокие облачные структуры, находящиеся вблизи границы с космосом. Они образуются при чрезвычайно низких температурах и низкой плотности мезосферы, что делает их чувствительными к даже небольшим изменениям в атмосфере. Наблюдение за серебристыми облаками может дать информацию об атмосфере и происходящих в ней процессах, таких как динамика, температура и влияние Солнца на Землю. Запуски космических ракет могут способствовать появлению серебристых облаков, о чем свидетельствуют многочисленные сообщения.

Выделяется в изучении СО не только их зависимость от естественных источников, но и зависимость от антропогенных факторов.

17 марта 1984 года в Архангельской области были замечены яркие 5-ти балльные серебристые облака I, II, III типа, возникшие из инверсионного следа после запуска ракетопносителя "Космос". Они наблюдались на высоте 8-15 градусов по азимуту 0-40 градусов в течение 4-5 часов. Наблюдения проводились при полнолунии и температуре воздуха -22 градуса наблюдателем Н. Власовым. Запуск ракет может стать значительным фактором в образовании серебристых облаков в ближайшие десятилетия. При каждом запуске ракетопноситель выбрасывает около 1200 т. водяного пара, в связи, с чем предполагается увеличение интенсивности облакообразования в мезосфере в последующие десятилетия более чем на 50%. Однако, по мнению американских геофизиков, это изменение в верхних слоях атмосферы вряд ли существенно повлияет на климат Земли. Одна из гипотез связана с образованием серебристых облаков и озонных дыр, активное образование которых приводит к уменьшению свободного газообразного озона.

В 2009 году НАСА провело эксперимент CARE, в ходе которого были созданы искусственные серебристые облака с помощью ракеты BlackBrant XII. После распыления частиц на высоте 278 км велись наблюдения за облаками с помощью специального оборудования в течение нескольких месяцев.

- Цель работы

Серебристые облака и парниковые газы. Ученые подозревали, что увеличение количества наблюдений серебристых облаков может быть связано с увеличением выбросов парниковых газов. Объединение данных AIM с 36-летними измерениями с помощью спутниковых инструментов показало корреляцию между более частым появлением серебристых облаков и увеличением содержания водяного пара, парникового газа, а также снижением температуры верхних слоев атмосферы — побочным эффектом потепления у поверхности. Увеличение концентрации метана вследствие деятельности человека повышает уровень влажности в мезопаузе, что в свою очередь приводит к возрастанию активности серебристых облаков.

- Выводы

Пока я работал над проектом, я узнал, что такое антропогенное влияние и понял как сильно оно может менять природу. А также доказал зависимость деятельности человека на образования Серебристых облаков. Я узнал, что в результате деятельности человека метан может выделяться дополнительно к имеющемуся природному.

ОСОБЕННОСТЬ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОРБИТЫ С БОЛЬШИМ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТОМ ДЛЯ ГЕОЗОНДИРОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ ЗЕМЛИ

Цуркан А.Б.

ФГБОУ ВО НИУ "Московский авиационный институт"

Цель работы заключается в предложении группировки космических аппаратов (КА), которая сможет постоянно, круглосуточно зондировать северные районы Земли в диапазоне географических широт 70-90 градусов. Особенностью требований к КА является движение по трассе вдоль заданной географической параллели или близко к ней. Это требование следует из освоения Северного морского пути. В веренице вдоль параллели КА должны двигаться один за другим, один сменяя другой, чтобы вся географическая параллель 70 градусов постоянно находилась в поле зрения аппаратуры, причём строго под КА по местной вертикали. Это нужно для наиболее рациональной работы лазерных приборов, чтобы луч проходил наименьший путь в атмосфере Земли, подвергаясь минимальным искажениям. Для достижения цели работы нужно было решить задачу моделирования движения КА по необычной вытянутой эллиптической орбите. Спутник должен зависнуть в точке апогея на заданной широте 70 градусов. Это возможно по второму закону Кеплера, то есть закону площадей. Уменьшение скорости движения КА в апогейной области становится таким значимым, что поверхность Земли вращается быстрее спутника. Это означает, что по трассе подспутниковая точка КА будет двигаться на запад, а не на восток, как это обычно все видят, например, на экране в Центре управления полётами в подмосковном городе Королёве.

Для достижения поставленной цели надо было сначала выполнить моделирование движения КА по орбите, а потом решить более сложную задачу – построить трассу этой орбиты на поверхности Земли. Раньше в школьном кружке похожие задачи решали на языке программирования Pascal, основываясь на известных методах баллистических расчётов. Также были варианты моделирования в редакторе Excel. Другие варианты программ были написаны на языках C++ и Python, но появилась рекомендация применить современный мощный и более удобный пакет прикладных программ. Моделирование орбитального движения выполнено в программе Scilab 6.1.1, свободной и бесплатной для распространения.

Решение задачи началось с изучения круговых орбит. Аналитические выражения сразу дублировались соответствующими программами. Например, круговая орбита была представлена программно, причём результат выводился на экран аналитически и графически. Затем был выполнен переход к эллиптическим орбитам. Были учтены аналитические формулы для характеристик эллипса. Наиболее сложным оказался учёт времени движения КА по эллиптической орбите. Однако вместо сложного трансцендентного уравнения Кеплера для средней аномалии был применён упрощённый метод на основе второго закона Кеплера. Этот метод сопоставляет время с площадью сектора, а период обращения КА по орбите – с площадью эллипса по третьему закону Кеплера. Суть работы заключается в медленном движении КА в окрестности апогея. В верхних точках орбиты КА буквально зависает над поверхностью Земли. Но при этом Земля вращается, поэтому трасса проходит вдоль географической параллели, равной наклонению плоскости орбиты к плоскости экватора Земли. Оказалось, что в итоге подспутниковая точка двигается по параллели, но

плоскость орбиты не лежит в плоскости этой параллели – это запрещено первым законом Кеплера.

Разработанная программа для построения трассы КА была проверена на известных спутниках. Классическим примером является трасса КА «Молния» с её знаменитой петлёй. Этот спутник предназначен для телевидения и связи западных районов России с восточными. На петле трассы КА находится в окрестности апогея. Это означает, что спутник задерживается на этой петле на 8 часов из 12 часов периода обращения по орбите. Трёх спутников достаточно для круглосуточной радиосвязи. В программу были введены исходные данные орбиты "Молния" а потом на экране получены правильные результаты. Значит, программа отлажена, работает правильно. Затем проверка была повторена на известной программе "Тундра". Наконец, для достижения цели работы была предложена авторская геосинхронная орбита с периодом обращения КА 24 часа. Построена трасса предложенной орбиты на поверхности Земли. Нижняя часть петли быстрая – это область перигея в Южном полушарии. Напротив, верхняя часть петли продолжается 18 часов из суточного периода, соответствует рабочей апогейной области. На ней КА движется практически вдоль географической параллели.

Для достижения цели работы высокоэллиптическая орбита должна обладать двумя свойствами: большой высотой апогея и достаточно большим эксцентриситетом (вытянута).

Недостатком предложенной орбиты является большая удалённость от поверхности Земли в рабочей точке зондирования, до 68000 км. Но при этом явным преимуществом служит постоянное зенитное расположение спутника над зондируемым районом. Предложена группировка из 38 КА, позволяющая постоянно и круглосуточно зондировать весь район полярной шапки Земли в диапазоне географических широт 70-90 градусов.

Получен авторский патент (RU № 223012) на полезную модель для иллюстрации новой орбиты КА.

АНАЛИЗ ОРОГРАФИЧЕСКОГО ЦИКЛОГЕНЕЗА НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ ЕЖЕДНЕВНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ

Щеглова Н.Е.

Российский Государственный Гидрометеорологический университет

Анализ орографического циклогенеза на основании данных ежедневной спутниковой съемки Циклогенез в горных районах оказывает существенное влияние на суточный ход погоды. В России, особенно в европейской части страны, довольно часто наблюдается ухудшение погодных условий за счет образования орографических циклонов.

К горным циклонам на Европейском континенте относятся [1]:

- Скагерракские (у южной оконечности Скандинавских гор в р-не Скагерраковского пролива);
- Генуэзские (у южной оконечности Альп в р-не Генуэзского залива);
- Карпатские (в Восточном Прикарпатье).

Основные условия для зарождения орографических циклонов связаны с [2]:

- Контрастом температур между горами и морем;
- На подветренной стороне гор возникает новый циклонический центр при сохранении старого центра на наветренной стороне;
- На наветренной стороне горного хребта циклон задерживается, происходит рост давления, и циклон со временем заполняется, а на подветренной стороне происходит падение давления, образуется барическая ложбина, и в ней возникает новый циклон;
- В последующем новый циклон получает дальнейшее развитие, а старый заполняется, но иногда длительно сохраняются оба центра, особенно при широтном расположении горного хребта.

На основании данных ежедневной спутниковой съемки MODIS/Aqua, Terra, VIIRS/NPP Suomi, VIIRS/NOAA-20 был сформирован архив снимков орографических циклонов на территории Европы за период с 2020 по 2024 гг. Построены и рассмотрены их траектории перемещения. Выполнен анализ синоптических условий циклогенеза.

Анализ показал, что сформировавшиеся за рассматриваемый период орографические циклоны являются частыми циклонами, возникающими в барической ложбине основного циклона, и перемещаются по его периферии, огибая центральный циклон по направлению, противоположному ходу часовой стрелки.

Деформация линии фронта с наветренной стороны гор часто приводит к образованию фронтальных волн и циклонов. Возникающие циклоны имеют небольшую глубину, но оказывают существенное влияние на погоду (выпадение длительных и обильных осадков).

Вынужденная деформация линии фронта происходит при задержке части фронта у хребта и продолжающемся смещении смежного участка фронта.

Литература:

[1] Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. - JL: Гидрометеиздат, 1991

[2] Зверев А.С. Синоптическая метеорология. - Л.: Гидрометеиздат, 1977-71с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРА ГАБОРА В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Щербакова В.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет

Гравитационная волна представляет собой подвижную волну в атмосфере, которая может представлять большую угрозу. Имеется множество причин для возникновения данных волн. Ими могут быть сдвиги ветра, связанные со струйным течением, образованием фронтов, гроз и ураганов. Гравитационные волны часто затухают и тогда не создают проблем для авиации, но иногда они могут распространяться на сотни миль. Их можно встретить во всех регионах Земли: от полярной зоны до тропиков, но большинство из них не представляют угрозы для летных экипажей [1]. Особую опасность представляют «невидимые» гравитационные волны, формирующиеся в условиях недостаточной для формирования облачности влажности [2].

Данный вид волн определяются на спутниковых снимках по специфическим изменениям в поле облачности, которые не всегда удается обнаружить. В данной работе рассматривается возможность применения фильтра Габора для обработки спутниковых изображений гравитационных волн в целях их дешифрирования и определения физических параметров для дальнейшего прогноза [3].

Фильтр Габора — это линейный фильтр, используемый для анализа текстуры снимка для анализа наличие определенного частотного сигнала на изображении в определенных направлениях в пределах локализованной области вокруг точки или области анализа.

Он пропускает частоты в определенном диапазоне и ослабляет другие частоты за пределами этого диапазона. Результаты фильтра Габора зависят от двух входных составляющих:

- Исходного изображения
- Заданных параметров фильтра

Правильно подобранные для конкретного изображения параметры позволяют получить лучшие определения границ объектов на изображении. Однако, на данный момент, не существует автоматического способа выбора этих параметров. Помимо этого, существует вторая проблема, связанная с геометрической вариативностью волн, например, их толщиной и ориентацией.

Для решения этих проблем был разработан новый метод. В данном методе автоматическое определение параметров фильтра достигается за счет применения машинного обучения, в частности, сверточных нейронных сетей. Сеть обучается на заранее размеченных снимках, обработанных фильтром Габора с правильно подобранными параметрами. Вторая проблема решается с помощью фрагментации исходного снимка, в результате которой фрагменты меньшего разрешения практически не содержат исходной геометрической вариативности.

В качестве языка программирования для практической реализации метода был выбран Python, так как это позволяет ускорить процесс разработки, за счет существования

большого набора библиотек для решения задач обработки изображений и машинного обучения. Модуль с машинным обучением реализован на основе библиотеки Keras [4]. Для работы с изображениями использовалась библиотека OpenCV.

Полученные результаты доказали перспективность данного подхода. Для каждого обработанного фрагмента исходного снимка был получен набор параметров, автоматически определенный с помощью метода, основанного на сверточных нейронных сетях.

Литература:

[1] The journal of Flight safety foundation. Aero Safety World, february 2010. Gravity waves by Ed Brotak. – 32-35 с.

[2] Федосеева Н.В., Ефимова Ю.В., Куроплина В.И. Применение спутниковой съемки в каналах водяного пара при анализе условий формирования невидимых орографических волн. //В сборнике: Климатические риски и космическая погода. материалы Международной конференции, посвященной памяти Нины Константиновны Кононовой. Иркутск, 2021. – 370-375 с.

[3] Fedoseeva N.V., Simakina T.E. The Gabor filter application in satellite analysis of “invisible” orographic waves. //Physics of the Atmosphere, Climatology and Environmental Monitoring. Modern Problems of Atmospheric Physics, Climatology and Environmental Monitoring. Сер. "Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences"2022. Pp. – 149-156 с.

[4] Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. – СПб.: Питер, 2018. – 397 с.

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЦЕНТРОВ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ НА ИНФРАКРАСНЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Якушева А.Н.¹, Ермаков Д.М.^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязинский филиал*

Тропические циклоны (ТЦ) относятся к числу наиболее опасных атмосферных процессов. Моделирование и прогноз их перемещения и эволюции является актуальной научной проблемой. Одной из ключевых составляющих решения этой задачи средствами ДЗЗ является автоматическая локализация центра ТЦ в разных фазах развития на спутниковых изображениях.

До сих пор существуют трудности автоматической локализации центра ТЦ. Исходя из результатов мировой литературы разных методов восстановления центра ТЦ средняя статистическая ошибка варьируется от $0,49^\circ$ до $0,237^\circ$ по широте и долготе. Такие показатели свидетельствуют о необходимости совершенствования методик применяемых к решению данной задачи, так как наименьшая из оценок сопоставима с характерным размером глаза ТЦ.

В докладе обсуждаются разработанные и реализованные алгоритмы автоматического определения центра ТЦ на инфракрасных спутниковых изображениях с помощью методов машинного обучения и алгоритмов компьютерного зрения. Достигнутая точность на данном этапе составляет $0,36^\circ$. В докладе сравниваются результаты разных методов восстановления координат центра ТЦ и приводятся примеры наиболее типичных случаев возникновения ошибок данных алгоритмов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИКИ РАН (тема «Мониторинг», г/р № 122042500031-8).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ



КИНЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЭКЗОПЛАНЕТЫ π MEN C ПОД ДЕЙСТВИЕМ РОДИТЕЛЬСКОЙ ЗВЕЗДЫ

Автаева А.А.

Институт астрономии РАН

Наблюдение за экзопланетами в ультрафиолетовом диапазоне дает информацию о строении атмосферы данной экзопланеты, а также о скоростях компонентов атмосферы и темпе убегания вещества из атмосферы. Экзопланета π Men c ($R = 2.06 R_E$, $M = 4.52 M_E$) располагается на границе ущелья Фултона со стороны суб-нептунов, что предполагает под собой наличие водорода в атмосфере экзопланеты. Исходя из предположения, что π Men c имеет первичную водородно-гелиевую оболочку, были применено кинетическое моделирование нетепловых процессов в верхней атмосфере экзопланеты π Men c. Рассматривались процессы рождения надтепловых частиц в экзотермической фотохимии под действием жесткого УФ излучения родительской звезды, а также проникающий поток перезарядившихся протонов звездного ветра. Убегание вещества атмосферы за счет воздействия жесткого излучения родительской звезды оказалось сравнимо с потоком убегания вещества за счет тепловых процессов. Энергия, проникающая в атмосферу с протонами звездного ветра, полностью уходит на нагрев атмосферы.

В рассмотренном случае средней звездной активности для родительской звезды π Men, поток энергии невозмущенного звездного ветра оценивается величиной ~ 3200 эрг см⁻² с⁻¹, но из-за достаточно низкой эффективности перезарядки $\sim 10\%$ протонов в протяженной водородной короне в верхнюю атмосферу горячего суб-нептуна π Men c проникает поток ЭНА Н с энергией ~ 320 эрг см⁻² с⁻¹, что значительно ниже привносимого в атмосферу потока энергии УФ излучения величиной ~ 1350 эрг см⁻² с⁻¹ (García Muñoz и др., 2020; Shaikhislamov и др., 2020). Следовательно, атмосферный нагрев плазмой звездного ветра важен лишь в самых внешних областях протяженной водородной короны. Баланс энергии в термосфере горячей экзопланеты определяется процессами поглощения звездного излучения в диапазонах мягкого рентгена и жесткого ультрафиолета (1 – 100 нм) излучения родительской звезды (García Muñoz и др., 2020; Shaikhislamov и др., 2020).

Ситуация с оценкой вклада воздействия звездного ветра и жесткого излучения родительской звезды на верхнюю атмосферу экзопланеты может существенно измениться при изучении влияния спорадической активности молодых родительских звезд - звездных супервспышек и корональных выбросов массы, - на темп потери атмосферы горячей экзопланеты (Bisikalo et al., 2021).

НОВЫЕ МОДЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ВЕНЕРЫ

Аморим Д.О.¹, Гудкова Т.В.²

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Институт физики Земли РАН

Венеру когда-то называли планетой близнецом Земли в связи со сходством этих планет по массе и радиусу. Однако у Венеры обнаружился ряд особенностей, из-за которых планета лишилась такого звания, например, отсутствие собственного магнитного поля, отсутствие тектоники плит и присутствие плотной атмосферы вулканического происхождения. Все эти отличия между Землей и Венерой тесно связаны с условиями и процессами в их недрах, и поэтому исследование внутреннего строения Венеры является важной задачей в области планетной геофизики.

Данная работа является продолжением [1]. На основе модели Земли PREM [2], построены сотни моделей внутреннего строения Венеры, отличающиеся радиусом и плотностью ядра, плотностью мантии, распределением вязкости в недрах и значениями параметров в реологической модели Андраде.

Во всех моделях значения давления в самом центре Венеры не достигают значения давления на границе внутреннего ядра Земли. Это указывает на то, что если состав ядра Венеры близок к составу земного ядра, то у Венеры твёрдого внутреннего ядра не может быть и ядро находится полностью в жидком состоянии. Это, вместе с медленной скоростью вращения планеты вокруг своей оси, может служить объяснением отсутствия её собственного магнитного поля.

Правдоподобие каждой модели оценивается на основе двух единственных измеренных геофизических параметров Венеры — момент инерции [3] и приливное число Лява [4]. Они пока измерены с невысокой точностью, но с целью их уточнения и измерения других параметров, разрабатываются миссии по исследованию Венеры: проект Роскосмоса — Венера-Д, проект Европейского космического агентства - EnVision и проект NASA — VERITAS.

Расчёты показывают, что “наиболее земплеподобными” являются модели с радиусом ядра в интервале от 3050 км до 3300 км, а сравнение значений момента инерции наших модельных планет с измеренным 0.337 ± 0.024 [3] позволяет заключить, что эти же модели и являются более вероятными. Однако здесь следует отметить, что момент инерции измерен с очень низкой точностью и необходимо использовать ещё один критерий — приливное число Лява [4].

В [5] нами был изложен алгоритм расчёта числа Лява который используется в этой работе. Единственное изменение алгоритма в случае Венеры связано с тем, что в данной работе мы учитываем влияние её плотной атмосферы на приливную деформацию планеты. Мы получили, что эта поправка уменьшает числа Лява примерно на 3%, что достаточно значимо.

При расчёте числа Лява неупругость в недрах учитывается с помощью реологии Андраде [5]. Она зависит от частоты приливного воздействия χ и от вязкости среды η и задаёт закон преобразования упругого модуля сдвига μ в комплексную величину. Вязкость в недрах Венеры неизвестна, поэтому построены пробные распределения вязкости на основе современных моделей Земли.

Реология Андраде также зависит от двух эмпирических параметров — α и ζ , которые неизвестны для мантийных минералов в условиях высоких давлений и температур. Для разрешения этой проблемы, мы в [5] провели “калибровку” реологического уравнения на

Земле. Числа Лява Земли были вычислены при тысячах разных комбинациях параметров Андраде и, сравнение модельных значений с наблюдаемыми позволило определить какие интервалы α и ζ подходят для описания планетных недр. Эти же интервалы применяются в наших моделях Венеры.

Совместный анализ полученных значений k_2 и момента инерции позволяет заключить, что наиболее вероятны модели с радиусом ядра в интервале от 3100 км до 3450 км.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23- 22-00074, <https://rscf.ru/project/23-22-00074>.

Литература:

[1] Amorim, D. O., and T. V. Gudkova. "Internal Structure of Venus Based on the PREM Model." *Solar System Research* 57.5 (2023): 414-425.

[2] Dziewonski, Adam M., and Don L. Anderson. "Preliminary reference Earth model." *Physics of the earth and planetary interiors* 25.4 (1981): 297-356.

[3] Margot, Jean-Luc, et al. "Spin state and moment of inertia of Venus." *Nature Astronomy* 5.7 (2021): 676-683.

[4] Konopliv, A. S., and C. F. Yoder. "Venusian k_2 tidal Love number from Magellan and PVO tracking data." *Geophysical research letters* 23.14 (1996): 1857-1860.

[5] Amorim, Dargilan Oliveira, and Tamara Gudkova. "Constraining Earth's mantle rheology with Love and Shida numbers at the M2 tidal frequency." *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 347 (2024): 107144.

РАЗРАБОТКА МНОГОПРОХОДНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ КЮВЕТЫ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО АБСОРБЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА ИСКРА-В (ВЕНЕРА-Д)

Волков П.А., Спиридонов М.В., Виноградов И.И.

Институт космических исследований РАН

Венера-Д - перспективный российский проект по исследованию Венеры [1]. В составе автоматических зондов миссии Венера-Д рассматриваются орбитальный, посадочный и аэростатный модули. Среди экспериментов, нацеленных на изучение атмосферы Венеры в облачном слое, для средних, нижних высот и у её поверхности были предложены измерения *in situ* концентраций малых газовых составляющих и некоторых изотопных соотношений с использованием методики абсорбционной лазерной спектроскопии. В настоящем докладе обсуждаются особенности реализующего такую методику лазерного спектрометра ИСКРА-В (Измеритель Сернистых Компонентов Разрежаемой Атмосферы Венеры).

Предварительное моделирование спектральных контуров линий поглощения было выполнено для молекул SO_2 , COS , CO , CO_2 , HCl , H_2O в соответствии с их ожидаемой распространённостью в атмосфере Венеры [2]. Для успешных измерений необходимо сформировать оптический путь длиной от 10 до 25 метров для прохождения зондирующего лазерного луча во взятой из окружающей атмосферы газовой пробе, заполняющей аналитическую оптическую кювету прибора при небольшом давлении около 25 мбар.

Реализация такого оптического пути в компактном приборе возможна с применением многопроходной оптической схемы, например, известной схемы Эрриотта, взятой за основу при создании прибора ИСКРА-В. В данной работе представлены найденные подходящие многопроходные конфигурации оптической схемы аналитической кюветы. Сформулированы критерии оптимизации, проведено численное исследование устойчивости для её выбранных вариантов. Созданный лабораторный макет оптической кюветы позволил экспериментально подтвердить ряд параметров рассчитанной схемы, на его основе были выполнены оценочные измерения содержания метана в окружающем лабораторном воздухе.

Литература:

[1] Zasova, L.V., Gorinov, D.A., Eismont, N.A. et al. Venera-D: A Design of an Automatic Space Station for Venus Exploration. *Sol Syst Res* 53, 506–510 (2019).

<https://doi.org/10.1134/S0038094619070244>.

[2] Marcq, E., Mills, F.P., Parkinson, C.D. et al. Composition and Chemistry of the Neutral Atmosphere of Venus. *Space Sci Rev* 214, 10 (2018).

<https://doi.org/10.1007/s11214-017-0438-5>.

ЗАДАЧА КООРДИНАТНОЙ ПРИВЯЗКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОКОЛОЛУННОЙ ОРБИТЕ

Габдулхаков А.Д., Архипова А.А., Шпекин М.И.

Казанский (Приволжский) Федеральный Университет

В докладе рассматриваются как традиционные методы координатной привязки КА, так и методы, использованные в последнее время для изучения спутника нашей планеты. Фотограмметрический метод привязки рассмотрен более подробно.

Координатная привязка на окололунной орбите имеет свои особенности, в отличие от привязки КА на околоземной орбите. Важным отличием окололунной орбиты является ее удаленность от Земли. Расстояние почти в 400 тысяч км заметно ограничивает точность координатной привязки КА методом доплеровского слежения с Земли. Кроме того, будучи на окололунной орбите, КА примерно половину времени находится над обратной стороной Луны, когда нет прямой видимости с Земли. В такой ситуации слежение за спутником с Земли становится невозможным, а его селеноцентрические координаты определяются на основе прогноза движения. Тогда как для решения целого ряда задач орбитальной фотограмметрии требуются не теоретические, а фактические положения КА.

Космические агентства разных стран в последние годы уделяют этой задаче большое внимание. Так в японской миссии SELENE, успешно реализованной в 2007-2009 годах, для определения селеноцентрических координат орбитальной станции «Кагуя», впервые были выведены на орбиту два малых спутника-помощника. При этом для определения положений станции «Кагуя» в окрестности Луны, были использованы наземные радиотелескопы, следившие за движением спутников-помощников. В китайском спутнике «Цюэцяо» (запущен 20 мая 2018 года) ретранслятор был расположен вблизи точки Лагранжа L2 системы Земля-Луна, что позволило получать и отправлять радиосигналы как с Земли, так и с обратной стороны Луны.

Для фотограмметрической привязки КА, рассмотренной в данной работе, были использованы фотоматериалы, полученные метрической камерой, установленной на борту КК «Аполлон-15,-16,-17» в ходе пилотируемых полетов на Луну.

Для наших расчетов были выбраны несколько снимков, на каждом из которых были измерены около 20 опорных точек. Каждый из снимков был предварительно обработан перед началом работы. Была установлена удобная ориентация снимков и выполнена светокоррекция, выбраны опорные точки, вычислены их координаты в системе снимка сначала в пикселях, а затем и в мм, каждый снимок был отождествлен с Lunar Quickmap.

С помощью решения задачи обратной засечки были определены координаты КК в моменты съемки. Результаты работы показали довольно высокую точность фотограмметрического метода.

ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТИННЫХ МАСС ЭКЗОПЛАНЕТ, ОБНАРУЖЕННЫХ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ: ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И НЕРЕШЁННЫЕ ВОПРОСЫ

Демин А.Г.

Институт космических исследований РАН

Метод измерения лучевых скоростей является одним из наиболее продуктивных методов поиска компактных объектов у других звёзд и уступает в эффективности только методу транзитов. В настоящее время с его помощью уже детектировано более 1000 экзопланет, но исследования продолжаются и на смену существующим инструментам, таким как HARPS и HIRES, проектируются новые, поэтому ожидается, что количество обнаруженных объектов будет лишь возрастать.

Тем не менее, одной из специфических особенностей метода измерения лучевых скоростей является тот факт, что с его помощью невозможно определить физическую массу компактного объекта, а наблюдаемой величиной является так называемая проективная масса, которая представляет собой произведение истинной массы на синус угла наклона орбиты. Очевидно, что наибольший научный интерес представляет как раз физическая масса обнаруженных объектов, поэтому изучение вопроса о том, каким образом можно получить её значение, анализируя результаты наблюдений проективных масс является крайне важным. Следует отметить, что обычно решение данной задачи рассматривается как получение распределения истинных масс экзопланет с помощью статистических методов на основе данных наблюдений.

Научное сообщество уделяло значительное внимание изучению этого вопроса по крайней мере с середины XX века [2] и к настоящему времени достигнуты важные результаты. Одним из последних является оригинальный численный метод определения истинных масс, и, что особенно интересно, новые выводы на основе обработки наблюдений экзопланет, полученные с помощью данного метода и опубликованные коллективом французских авторов в работе [1]. При этом в указанной публикации отмечается, что выявленный эффект может послужить основанием для новых выводов в теории формирования и эволюции планетных систем. По этой причине, представляется важным детально проанализировать как предложенную авторами методологию, так и полученные результаты.

В настоящем докладе ставится цель кратко обрисовать как саму проблему определения истинных масс, так и уже достигнутые в её решении успехи, а также сделать особый акцент на результатах исследования [1] и сформулировать методологию их проверки и анализа.

Литература:

[1] Bertaux J.-L., Ivanova A. A numerical inversion of $m \sin i$ exoplanet distribution: the sub-Saturn desert is more depleted than observed and hint of a Uranus mass gap // MNRAS, 2022, 512, p. 5552–5571

[2] Chandrasekhar S., Munch G. On the integral equation governing the distribution of the true and the apparent rotational velocities of stars // Astrophys. J., 1950, V. 111, p. 142–156.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ БАЗ ДАННЫХ МОЛЕКУЛЫ СО₂ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОКНА ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ 1 МКМ

Дёминова Т.А.^{1,2}, Евдокимова Д.Г.²

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Институт космических исследований РАН

На Венере давление и температура у поверхности достигают экстремальных значений, около 90 бар и 740 К, и большая часть формирующегося теплового излучения задерживается очень плотной атмосферой. "Окна прозрачности" атмосферы Венеры - узкие спектральные диапазоны, в которых углекислый газ СО₂, составляющий 96.5% атмосферы, почти полностью прозрачен для инфракрасного (ИК) излучения. Именно наблюдения в окнах прозрачности - способ дистанционно исследовать атмосферу ниже облачного слоя (47-70 км), а также поверхность планеты. В данной работе рассматривается спектральный интервал окна прозрачности вблизи длины волны 1 мкм (0.95-1.05 мкм), излучение формируется горячей поверхностью. Спектрометр СПИКАВ ИК космической миссии "Венера-Экспресс" проводил наблюдения Венеры в данном спектральном диапазоне в 2006-2014 гг. с высоким разрешением 5.2 см⁻¹. Анализ данных СПИКАВ ИК может дать информацию о свойствах поверхности, таких как вулканическая активность, на которую указывают наблюдения спектрометра ВИРТИС/"Венера-Экспресс" [1-2] и радиолокационные данные космического аппарата Магеллан [3], а также о вариациях облачного слоя.

Спектр окна прозрачности 1 мкм в основном определяется слабыми линиями поглощения и крыльями сильных линий поглощения СО₂ в прилегающем диапазоне длин волн [4], а также слабым поглощением водяным паром в полосе 0.95 мкм. В условиях высоких температур спектральные базы данных, применимые к атмосфере Земли, например, HITRAN, недостаточны. Существуют несколько высокотемпературных баз данных, такие как HITEMP, CDS, "High-T" и AMES2016, которые определены на основании экспериментов и теоретических моделей, но абсолютной базы данных для Венеры нет. Большие давления, когда полуширина линий сравнима или превышает расстоянием между ними, требуют коррекции поглощения в крыльях линий СО₂, заданных лоренцевским контуром. Наблюдаемое поглощение в окне прозрачности меньше, чем при использовании лоренцевского контура, что может быть эмпирически параметризовано для коррекции крыльев линии поглощения [4-7].

Спектр излучения поверхности в окне прозрачности 1 мкм сильно зависит от выбранной спектральной базы данных и описания крыльев линий СО₂. На основании данных СПИКАВ ИК планируется исследовать какие базы данных и приближения контуров линий наилучшим образом соответствуют наблюдениям.

Данная работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант РФФ № 23-72-01064.

Литература:

[1] E. V. Shalygin, W. J. Markiewicz, A. T. Basilevsky, D. V. Titov, N. I. Ignatiev, and J. W. Head. Active volcanism on venus in the ganiki chasma rift zone. *Geophysical Research Letters*, 42(12):4762-4769, 2015.

[2] Suzanne E. Smrekar, Ellen R. Stofan, Nils Mueller, Allan Treiman, Linda Elkins-Tanton,

Joern Helbert, Giuseppe Piccioni, and Pierre Drossart. Recent hotspot volcanism on venus from virtis emissivity data. *Science*, 328(5978):605-608, 2010.

[3] Robert R. Herrick and Scott Hensley. Surface changes observed on a venusian volcano during the magellan mission. *Science*, 379(6638):1205-1208, 2023.

[4] V. S. Meadows and D. Crisp. Ground-based near-infrared observations of the venus nightside: The thermal structure and water abundance near the surface. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 101(E2):4595-4622, 1996.

[5] Bruno Bézard, Anna Fedorova, Jean-Loup Bertaux, Alexander Rodin, and Oleg Korablev. The 1.10- and 1.18-m nightside windows of venus observed by spicav-ir aboard venus express. *Icarus*, 216(1):173-183, 2011.

[6] Rainer Haus and Gabriele Arnold. Radiative transfer in the atmosphere of venus and application to surface emissivity retrieval from virtis/vex measurements. *Planetary and Space Science*, 58(12):1578-1598, 2010.

[7] H. Tran, C. Boulet, S. Stefani, M. Snels, and G. Piccioni. Measurements and modelling of high pressure pure co₂ spectra from 750 to 8500 cm⁻¹. i-central and wing regions of the allowed vibrational bands. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 112(6):925-936, 2011.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВОДЫ И ХЛОРА ПО ОЦЕНКАМ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРА ДАН В ОБЛАСТИ ГРИНХЬЮ КРТАЕРА ГЕЙЛ

Дьячкова М.В., Никифоров С.Ю., Лисов Д.И.,
Литвак М.Л., Митрофанов И.Г.

Институт космических исследований РАН

Динамическое альbedo нейтронов (ДАН) — активный нейтронный спектрометр на борту марсохода НАСА «Кьюриосити». Этот прибор используется для измерения содержания водорода (водного эквивалента водорода, ВЭВ) и других поглощающих нейтроны элементов (эквивалентного хлора) в недрах Марса вдоль траверса марсохода на глубине около 50 см. ДАН работает с августа 2012 года.

Данная работа представляет собой анализ измерений прибора ДАН в регионе Гринхью. Этот геологический объект на Марсе, расположенный недалеко от подножия горы Шарп в кратере Гейл. Считается, что регион Гринхью образовался в результате эрозии окружающих пород.

Измерения ДАН на вершине и склонах региона Гринхью показали различия как в содержании ВЭВ, так и в содержании эквивалентного хлора. Это может отражать разнообразные геологические процессы, которые с течением времени сформировали регион. По всей видимости, верхняя часть региона Гринхью более устойчива к эрозии, чем нижележащий материал, поскольку в противном случае его обширная поверхность была бы расчленена эрозией. Это создало предпосылки для более высокого содержания воды, что и наблюдает прибор ДАН.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СХЕМЫ ПОЛЕТА К ВЕНЕРЕ

Зубко В.А., Беляев А.А., Эйсмонт Н.А.

Институт космических исследований РАН

В исследовании рассматривается подход к разработке сценария полета к Венере, позволяющий существенно расширить достижимую область посадки аппарата. Предлагаемый подход основан на использовании гравитационного маневра у Венеры для перевода космического аппарата на резонансную (периодическую) орбиту в соотношении периодов 1:1 [1-3], что позволяет космическому аппарату после одного витка перелета на резонансной орбите вернуться к планете через 224,7 суток и осуществить посадку в заданном районе посадки. В качестве примера рассматривается проектирование сценария перелета для миссии к Венере, в состав которой включается орбитальный (ОМ) и посадочный (ПА) аппараты, для окна старта в 2031 году, что связано с планируемым запуском миссий «Венера-Д» [4] и DAVINCI+ [5]. Траектории перелета к Венере в рамках проектируемого сценария определяются при наличии ограничений к совместной работе ОМ и ПА, а также к рабочей орбите ОМ. Проводится предварительный анализ ограничений накладываемых на рабочую орбиту ОМ, а также оценивается их влияние на проектирование траектории перелета космического аппарата. Показано, что в результате построения траектории перелета к Венере с использованием гравитационного маневра удастся обеспечить доступ практически к любой заданной точке поверхности Венеры, в том случае, если отсутствуют ограничения к рабочей орбите ОМ. Однако, в силу наличия ограничений на орбиту ОМ доступные для посадки области на поверхности планеты сокращаются, при этом суммарная достижимая площадь все равно составляет более 50% от всей венерианской поверхности. Результаты, полученные для сценария перелета с попутным гравитационным маневром у Венеры, сравниваются с работами [6, 7]. В качестве дополнительного исследования приводятся примеры использования резонансных орбит для решения таких задач, как облет астероидов на пути к желаемой точке посадки космического аппарата, а также непрерывного облета астероидов малым космическим аппаратом, находящимся на резонансной гелиоцентрической орбите 1:1.

Литература:

- [1] Eismont N., Zubko V., Fedyaev K. et al. Expansion of landing areas on the Venus surface using resonant orbits in the Venera-D project // *Acta Astronautica*. 2022. V. 197. P. 310–322.
- [2] Zubko V.A., Eismont N.A., Fedyaev K.S. et al. A method for constructing an interplanetary trajectory of a spacecraft to Venus using resonant orbits to ensure landing in the desired region // *Advances in Space Research*. 2023. V. 72. No. 2. P. 161–179.
- [3] Зубко В.А. Возможные траектории полёта к Венере с посадкой в заданном регионе // *Письма в Астрон. журн.* 2022. Т. 48. № 12. С. 869–882.
- [4] Zasova L., Gorinov D., Eismont N. et al. Venera-D: A Design of an Automatic Space Station for Venus Exploration // *Solar System Research*. 2019. V. 53. No. 7. P. 506–510.
- [5] Garvin J., Getty S., Arney G. et al. DAVINCI+: Deep atmosphere of Venus investigation of noble gases, chemistry, and imaging plus // *J. Atmospheric Sciences*. 2020. V. 3. No. 2326. Article 2599.
- [6] Симонов А.В., Ковалева С.Д., Гордиенко Е.С. и др. Особенности проектирования траекторий перспективных космических аппаратов для исследования Венеры // *Инженер. журн.: наука и инновации*. 2021. № 10(118).
- [7] Эйсмонт Н.А., Засова Л.В., Симонов А.В. и др. Сценарий и траектория миссии «Венера-Д» // *Вестн. НПО им. С.А. Лавочкина*. 2018. №4. С. 11–18.

ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ: ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЬЕРА КОННА К КРОСС-КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ

Иванова А.Е.^{1,2}, Тавров А.В.¹, Bertaux J.-L.²,
Lallement R.³

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *LATMOS, Universite Versailles-Saint-Quentin*

³ *GEPI, Observatoire de Paris, PSL University, CNRS*

Метод кросс-корреляционной функции (CCF) является самым первым и остается одним из основных и чаще всего используемых методов для вычисления лучевой скорости звезды. В классическом подходе производится фитирование CCF гауссианной для нахождения центра CCF, с которым ассоциируется значение лучевой скорости. Мы предлагаем применить метод Пьера Конна [1] для вычисления смещения центра CCF для серии измерений.

Нашей целью было проверить преимущества применения алгоритма поиска сдвигов, разработанного Пьером Конном, непосредственно к CCF и сравнить полученные сдвиги RV (DRVs) с результатами гауссового фитирования. На втором этапе мы исследовали, как отдельные профили вдоль сетки скоростей, полученные с помощью алгоритма поиска сдвигов, могут быть использованы в качестве простого инструмента для обнаружения вариаций формы звездных линий.

Мы разработали соответствующий алгоритм и протестировали его на 1151 архивном спектре K2.5 V звезды HD 40307, полученном с помощью ESO/ESPRESSO в ходе недельной кампании в 2018 году. Тесты проводились на основе сравнения DRV с RV из гауссовых фитов. Профили DRV вдоль сетки скоростей (DRVi) тщательно изучались и сравнивались с прямыми соотношениями CCF.

К примеру, дисперсия остатков от линейного фитирования RVs по 406 спектрам, зарегистрированным в течение одной ночи, что является мерой средней ошибки, составила $\sigma=1.03$ и 0.83 мс^{-1} для гауссового фитирования и нового алгоритма соответственно, что на 20% повышает точность.

Алгоритм поиска сдвига - быстрый и простой инструмент, позволяющий получить дополнительную диагностику по RV-измерениям в серии экспозиций. Для наблюдений, выполненных в одной и той же инструментальной конфигурации, и если формы линий существенно не меняются, он повышает точность определения вариаций скорости. С другой стороны, отклонения от постоянства профилей DRVi, а также различия между RV, полученными новым методом, и RV, полученными с помощью гауссового фитирования, позволяют простым способом обнаружить вариации формы линий, связанные со звездной активностью.

Результаты описаны в диссертации [2].

Литература:

[1] Connes, P. 1985, *Astrophysics and Space Science*, 110, 211

[2] Anastasiia Ivanova. Contributions to the study of exoplanets : improvement of the stars radial velocity measurements, transit spectroscopy modeling. *Astrophysics [astro-ph]*. Université Paris-Saclay, 2023. English. (NNT : 2023UPASP147). (tel-04504477)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕТОДА ПРЯМОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ЭКЗОПЛАНЕТ: ЗВЁЗДНЫЙ КОРОНОГРАФ, АДАПТИВНАЯ ОПТИКА

Кабулова Д.Р.^{1,2}, Тавров А.В.¹

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

² *Институт космических исследований РАН*

Прямое наблюдение экзопланет - один из методов детектирования экзопланет, быстро развивающийся в современное время. В данный момент около 2% всех найденных экзопланет было обнаружено данным методом. Поскольку разница в светимости между экзопланетами и родительскими звездами составляет более 9 порядков в видимом диапазоне, данная задача требует обширного технического изучения. Чтобы иметь возможность обнаружить экзопланету, необходимо ослабить свет звезды в астрономическом изображении, для чего используется оптическая система, включающая в себя методы увеличения контраста: звездный коронограф (аналог солнечного коронографа, адаптированный под видимый размер звезды), аподизационные решения.

Помимо этого, требуется прецизионная коррекция волнового фронта, так как после ослабления звёздного света остаётся оптический шум, насыщающий фотоприемник и искажающий изображение, и мешающий увидеть экзопланету. Чтобы справиться с данной задачей, и требуется применение адаптивной оптики, проводящей коррекцию волнового фронта в том числе реальной оптики. Искажения ФРТ вызваны рассеянным светом на абберациях и на границах оптики телескопов, с помощью которых и предполагается наблюдение за экзопланетами. При наблюдениях с земной поверхности, дополнительным искажающим фактором становится атмосфера нашей планеты, что отсутствует в космическом телескопе.

В данном докладе будет проанализирован данный метод, а также показаны возможные варианты решения вышеуказанных проблем, над которыми работает научная группа.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДИФФУЗИИ В АТМОСФЕРЕ МАРСА ПО ДАННЫМ СОЛНЕЧНОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ ACS/TGO

Коссова Д.А.¹, Беляев Д.А.^{2,1}, Стариченко Е.С.¹

¹ НИУ Высшая школа экономики

² Институт космических исследований РАН

В вертикальной структуре атмосферы Марса можно выделить два режима диффузии: гомосферу, где в результате турбулентного перемешивания атмосферные газы распределены с высотой равномерно, и гетеросферу, где преобладает молекулярное перемешивание с диффузионным разделением на отдельные газовые компоненты. Пограничный слой, где турбулентная диффузия меняется на молекулярную, индивидуальную для каждой компоненты, называется гомопаузой (расположена в диапазоне высот от 100 до 130 км) [1]. До сих пор отсутствует универсальный метод определения коэффициента турбулентной диффузии из-за его сложной природы, объединяющей как фотохимию, так и динамику нижней атмосферы. В литературе чаще всего приводятся эмпирические формулы для расчета этого коэффициента, а также соответствующие поправочные параметры [2, 3]. Для наиболее точной оценки коэффициентов диффузии необходимы данные о вертикальном распределении температуры и плотности атмосферы, особенно в зоне гомопаузы.

В настоящей работе приведен анализ высотных профилей температуры и плотности, измеренных спектрометрическим комплексом ACS (Atmospheric Chemistry Suite) с борта аппарата ExoMars/TGO в режиме солнечного просвечивания атмосферы [4]. Канал ACS средней инфракрасной области (ACS-MIR) зондирует атмосферу Марса в диапазоне спектра 2.3-4.2 мкм с апреля 2018 года по н.в. Высокие спектральное разрешение и чувствительность эксперимента позволяют измерять плотность и температуру атмосферы в полосе поглощения CO₂ около 2.7 мкм в широком диапазоне высот, от 20 до 180 км, охватывая слои тропосферы, мезосферы и термосферы [5]. В работе показаны результаты наблюдений за 2,5 Марсианских года (MY) – с середины MY34 до конца MY36. На основе данных ACS рассматриваются различные подходы к определению коэффициента турбулентной диффузии: тестируется как одномерная фотохимическая модель Краснопольского [2], так и метод, учитывающий вклад волновых эффектов в атмосфере [3]. В результате проведенного анализа получены сезонные и широтные вариации высоты гомопаузы от 90 до 130 км, а также её зависимость от атмосферной плотности и коэффициентов диффузии в этой переходной зоне.

Литература:

[1] Bougher et al., 2017. Chapter 14: Upper Atmosphere and Ionosphere, in *The Atmosphere and Climate of Mars*, ed. B. Haberle, M. Smith, T. Clancy, F. Forget, R. Zurek, Cambridge University Press, doi:10.1017/9781107016187.

[2] V.A. Krasnopolsky, "Spectroscopy and photochemistry of planetary atmospheres and ionospheres: Mars, Venus, Titan, and Pluto," Cambridge University Press, 2019. <https://doi.org/10.1017/9781316535561>

[3] Slipski et al., 2018. Variability of Martian turbopause altitudes. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 123(11), 2939-2957. <https://doi.org/10.1029/2018JE005704>

[4] Korablev et al., 2018. The Atmospheric Chemistry Suite (ACS) of three spectrometers for the ExoMars 2016 trace gas orbiter. *Space Science Reviews*, 214(1). <https://doi.org/10.1007/s11214-017-0437-6>.

[5] Belyaev et al., 2022. Thermal structure of the middle and upper atmosphere of Mars from ACS/TGO CO₂ spectroscopy. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 127(10), e2022JE007286. <https://doi.org/10.1029/2022JE007286>.

ОЦЕНКА ЧАНДЛЕРОВСКОГО ПЕРИОДА МАРСА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ПАРАМЕТРА РЕОЛОГИИ АНДРАДЕ

Кулик Е.А., Гудкова Т.В.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта

В данном исследовании предпринята попытка исследовать, как значение чандлеровского периода зависит от параметров реологии Андраде. Для этого были построены неупругие модели внутреннего строения Марса для различных значений параметра Андраде и вязкости.

Метод построения упругих моделей взят из работы [1]. Данные о химическом составе основаны на модельном составе DW85 [2], который получен из анализа марсианских метеоритов. За нулевое приближение принят минералогический состав из работ [3, 4], в которых авторы подвергали образцы состава DW85 высоким значениям давления и температуры, предположительно соответствующим условиям в недрах планеты. Для построения неупругой модели выбрана реология Андраде.

В качестве ограничений для моделей используются наблюдаемые геодезические параметры планеты, такие как средний радиус и масса, момент инерции, приливное число Лява k_2 . Дополнительным ограничением выступает чандлеровский период. Его значение недавно было получено в работе [5] с достаточно хорошей точностью из радионаблюдений аппаратами Mars Odyssey, Mars Reconnaissance Orbiter и Mars Global Surveyor. Чандлеровским колебанием называется свободная нутация планеты. Значение чандлеровского периода определяется главным образом температурой, реологией и составом мантии. Он служит мерой деформации на длинных периодах.

Кроме того, ограничениями также служат данные, полученные из сейсмического эксперимента миссии InSight. Ими являются средние значения плотности и толщины коры. В моделях используется 200-км расплавленный силикатный слой на границе ядро-мантия, об открытии которого было сообщено недавно в работе [6]. В указанной работе также было обновлено значение радиуса ядра, которое используется в настоящем исследовании.

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования ИФЗ РАН.

Литература:

- [1] Жарков В.Н., Гудкова Т.В. Построение модели внутреннего строения Марса // *Астрономический вестник*. 2005, том 39, №5. с. 1-32.
- [2] Dreibus G., Wanke H. Mars, a volatile-rich planet // *Meteoritics*. 1985. V. 20. P. 367-381
- [3] Bertka C.M., Fei Y. Mineralogy of the Martian interior up to core-mantle boundary pressures // *J. Geophys. Res.* 1997. V. 102. N 3. P. 5251-5264.
- [4] Bertka C.M., Fei Y. Density profile of an SNC model Martian interior and the moment-of-inertia factor of Mars // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 1998. V. 157. P. 79-88.
- [5] Konopliv A.S., Park R.S. et al. Detection of the Chandler wobble of Mars from orbiting spacecraft // *Geophysical Research Letters*. 2020. V. 47. I. 21, e2020GL090568.
- [6] Samuel H., Drilleau M. et al. Geophysical evidence for an enriched molten silicate layer above Mars's core // *Nature*. 2023, V. 622. p. 712-717.

ИЗМЕНЕНИЕ ОРБИТ АСТЕРОИДОВ, СБЛИЗИВШИХСЯ С ЗЕМЛЁЙ

Мамилов К.К.

ГБОУ "Воробьевы горы"

Исследование околоземных астероидов является одним из самых актуальных разделов астрономии. Помимо чисто практической цели – предсказания сближений астероидов с Землёй – эта задача имеет большое теоретическое значение. В результате возмущений от больших планет Солнечной системы орбиты астероидов могут заметно изменяться. При наиболее тесных сближениях некоторые малые планеты могут даже переходить из одного семейства в другое (например, из семейства Аполлона в группу Атона и обратно).

Данная работа посвящена изучению последствий тесных сближений астероидов с Землёй. В качестве объектов исследования были выбраны астероиды, пролетавшие на расстоянии менее 40 тысяч км от нашей планеты за последние пять лет. Целью работы было выявить зависимость изменений орбитальных параметров от расстояния сближения с Землёй и скорости пролёта мимо нашей планеты.

Работа состояла из нескольких этапов. Задачей первого этапа было составить список астероидов, подлетающих к Земле на расстояние менее 40 тысяч км в 2018–2023 гг. и скачать их наблюдения из базы данных Центра Малых планет. На втором (самом трудоёмком) этапе проводилось вычисление орбит астероидов по наблюдениям с помощью программы *Find_Orb*. При этом определялись орбитальные элементы астероидов за 15 суток до и через 15 суток после тесного сближения. Затем полученные результаты сводились в таблицу, на основании которой строились графики зависимости изменений орбиты от параметров сближения. В результате анализа полученных графиков делались определённые выводы.

Выводы. В результате сближений с Землёй наиболее заметно изменяются большая полуось (и связанный с ней 3-м законом Кеплера период обращения вокруг Солнца) и расстояние афелия, а слабее всего – наклонение орбиты к плоскости эклиптики. Наиболее заметное влияние на изменение параметров орбиты оказывает расстояние сближения с Землёй, а в меньшей степени – скорость пролёта астероида. Однако есть и другие факторы, влияющие на изменение орбиты после сближения.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СВОЙСТВ АЭРОЗОЛЯ НАДОБЛАЧНОЙ ДЫМКИ ВЕНЕРЫ ПО ДАНЫМ СПЕКТРОМЕТРА СУАР НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ «ВЕНЕРА-ЭКСПРЕСС»

Непоп А.Р.^{1,2}, Лугинин М.С.², Фёдорова А.А.²,
Кораблёв О.И.²

¹ *НИУ Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

Венера покрыта толстым слоем облаков, которые простираются от 48 до 70 км; над облаками располагается тонкий слой надоблачной дымки. На верхней границе облаков частицы являются сферическими и состоят из водного раствора серной кислоты (Esposito et al., 1983). В данной работе для восстановления микрофизических свойств аэрозолей надоблачной дымки используются наблюдения прибора СУАР (SOIR) с космического аппарата «Венера-Экспресс», выполненные в геометрии солнечного просвечивания.

Распространяющееся в атмосфере излучение подчиняется закону Бугера-Ламберта-Бера. Значение оптической толщины атмосферы на луче зрения выражается через коэффициент пропускания. Также было показано, что рэлеевское рассеяние и атмосферная рефракция не оказывают существенного влияния на спектры СУАР. Для восстановления высотных профилей коэффициента ослабления аэрозоля применяется алгоритм «очистки луковицы» (Rogers, 2000). Предварительно был проведён отбор измерений, выполненных в достаточно широком диапазоне длин волн с высоким вертикальным разрешением.

Моделирование коэффициента ослабления ансамбля аэрозольных частиц проводится согласно теории Ми (Mishchenko et al., 1999). Используются одномодовые и двухмодовые логарифмически нормальные функции распределения. При восстановлении параметров распределения аэрозольных частиц по размерам решается задача оптимизации для целевой функции χ^2 . Для решения задачи оптимизации мы применили алгоритм SLSQP (Kraft, 1988).

Для большинства измерений использование двухмодовой функции распределения лишь незначительно улучшает качество аппроксимации экспериментальных данных. Однако было показано, что учёт второй моды позволяет значительно точнее приблизить экспериментальные данные для некоторых измерений. Полученные значения эффективного радиуса варьируются от ≈ 3 до $\approx 0,1$ мкм. Радиус одной из мод в двухмодовой модели распределения зачастую близок к радиусу одномодовой модели.

Литература:

[1] Esposito, L., Knollenberg, R., Marov, M., Toon, O., Turco, R. The clouds and hazes of Venus. // 1983. Venus (p. 484-564). Tucson: The University of Arizona press

[2] Rogers, C. Invers methods for atmospheric sounding. Theory and practice. // Singapore: World Scientific. 2000.

[3] Mishchenko, M., Dlugach, J., Yanovitskij, E., Zakharova, N. Bidirectional reflectance of flat, optically thick particulate layers: an efficient radiative transfer solution and applications to snow and soil surfaces // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. 1999. V. 63. P. 409-432

[4] Kraft, D. A software package for sequential quadratic programming. // Tech. Rep. DFVLR-FB 88-28, DLR German Aerospace Center — Institute for Flight Mechanics, Koln, Germany. 1988

ТРАНЗИТНЫЕ ЭКЗОПЛАНЕТЫ У БЕЛЫХ КАРЛИКОВ

Пашина П.О.¹, Яковлев О.Я.²

¹ *University of Debrecen*

² *Специальная Астрофизическая Обсерватория РАН*

Наиболее результативный метод обнаружения экзопланет в настоящее время — транзитный метод. Глубина падения блеска звезды во время транзита прямо пропорциональна квадрату отношения радиусов планеты и звезды. С этой точки зрения наиболее перспективными звёздами для поиска экзопланет являются белые карлики вследствие своих малых размеров. Белый карлик — остаток звезды главной последовательности на конечной стадии её эволюции. Масса типичного белого карлика составляет порядка 0.6 масс Солнца, а радиус примерно равен радиусу Земли. Несмотря на теоретически большое количество выживших планет в системах [1] и на значительную глубину транзита, на практике было обнаружено всего несколько таких планет. При этом только одна из них (WD 1856+534) была обнаружена транзитным методом [2].

В докладе делается обзор по теме планетных систем у белых карликов, а также оцениваются параметры кривой блеска транзитных экзопланет белых карликов: глубина падения блеска, период и длительность транзита.

На данный момент обнаружено несколько косвенных признаков существования планетных систем вокруг белых карликов [3]. Во-первых, у $\sim 30\%$ белых карликов наблюдается загрязнение фотосферы элементами, тяжелее углерода. Во-вторых, вокруг белых карликов обнаруживаются диски из каменных обломков, которые по-видимому являются остатками разрушенных планетных систем. Предполагается, что в этих дисках могут формироваться планеты второго поколения. В-третьих, был зарегистрирован сам процесс разрушения крупного каменистого тела приливными силами вокруг белого карлика WD 1145+017.

Теоретические модели также предсказывают существование планетных систем вокруг белых карликов. Более 99% звёзд [4], имеющих экзопланеты, в процессе своей эволюции станут белыми карликами. При этом звезда теряет от 50% до 80% своей массы [5], что в совокупности с увеличением светимости звезды и потенциальным наличием звезды компаньона приводит к дестабилизации и перераспределению орбит. В результате этих факторов не все планеты останутся в системе. Часть планет будет выброшена из системы, тогда как другая часть может быть разрушена приливными силами белого карлика и либо быть поглощена его атмосферой, либо образовать диск, вращающийся вокруг белого карлика. В ходе моделирования было выявлено [1], что около 40% планет останутся в своих системах после этапа перераспределения орбит.

Параметры кривой блеска белого карлика с транзитной экзопланетой оценивались при варьировании следующих параметров: радиуса и массы звезды, радиуса экзопланеты и большой полуоси орбиты экзопланеты. В силу малого размера белых карликов (сравнимого с Землей), возможно полное затмение звезды экзопланетой. Для экзопланет у белых карликов на орбитах до 1 а.е. характерны периоды порядка десятков минут с длительностью транзита от одной до ~ 30 минут.

Литература:

[1] А.С. Андрюшин & С. Б. Попов Популяционный синтез экзопланет с учётом изменения орбит за счёт звёздной эволюции // Астрон. журнал (2021)

[2] Vanderburg A. et al. A giant planet candidate transiting a white dwarf // Nature volume 585, pages 363–367 (2020)

[3] Cortés J. & Kipping D. On the detectability of transiting planets orbiting white dwarfs using LSST // MNRAS 488, 1695–1703 (2019)

[4] Stock K. et al. Birth cluster simulations of planetary systems with multiple super-Earths: initial conditions for white dwarf pollution drivers // MNRAS 512, 2460–2473 (2022)

[5] The evolution and delivery of rocky extra-solar materials to white dwarfs // arXiv:2401.08767 (preprint)

КОРРЕКЦИЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕЛЕКЦИИ В СТАТИСТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ ЭКЗОПЛАНЕТ ПО МАССАМ И ОРБИТАЛЬНЫМ ПЕРИОДАМ

Саламашкина А.А.¹, Ананьева В.И.², Тавров А.В.²

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

² *Институт космических исследований РАН*

Метод лучевых скоростей (метод Доплера, RV) является одним из косвенных способов обнаружения экзопланет, его суть заключается в спектроскопическом измерении лучевой скорости звезды. Он позволяет определить амплитуду колебаний радиальной скорости звезды, вращающейся вокруг центра масс системы «родительская звезда – планета», период обращения, а также минимальную массу планеты. На данный момент уже обнаружено более 5.5 тысяч экзопланет, причем более 95% из них были открыты методом лучевых скоростей родительских звезд и фотометрией транзитов. Данного количества достаточно для проведения анализа статистического распределения экзопланет, например, по массам и орбитальным периодам.

В ряду статистических исследований изучение распределений планет по массам и орбитальным периодам позволяет выявлять усредненную структуру планетарных систем. Однако, при использовании информации приведенной в астрономических каталогах (например, NASA Exoplanet archive и др.), очень важно учитывать факт наблюдательной селекции и проводить коррекцию для получения достоверных статистических распределений, в противном случае можно получить сильно искаженные от действительности данные. Основными искажающими факторами при наблюдениях могут служить: время наблюдений и количество измерений, инструментальная погрешность приборов измерения, и др. Для коррекции данных был использован метод «окна видимости», который позволяет определять вероятность обнаружения RV-планеты в зависимости от ее орбитального периода и минимальной массы. Для осуществления оценки обнаружимости планеты при тех или иных условиях используется метод периодограммы Ломба-Скаргла.

На данный момент, основной задачей является усовершенствование метода коррекции наблюдательной селекции при изучении статистического распределения экзопланет по массам и орбитальным периодам. В данном докладе будет проанализирован данный метод, а также предложен возможный вариант коррекции.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОТЫ МЕЗОПАУЗЫ В АТМОСФЕРЕ МАРСА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СОЛНЕЧНОМУ ПРОСВЕЧИВАНИЮ СПЕКТРОМЕТРА ACS-MIR

Салихова С.Р.^{1,2}, Беляев Д.А.^{1,2}, Стариченко Е.Д.¹,
Фёдорова А.А.¹, Кораблев О.И.¹, Montmessin F.³,
Трохимовский А.Ю.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

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

³ *LATMOS/IPSL, UVSQ Universit e Paris-Saclay, UPMC Univ. Paris 06, CNRS, Guyancourt, France*

Мезопауза – это тонкий слой атмосферы планеты, который разделяет мезосферу и термосферу и характеризуется самой низкой температурой в атмосферном столбе. На Марсе мезопауза находится примерно на высоте 100 км. Исследование этого слоя и его корреляции с различными параметрами планеты, такими как географические координаты, время года, время суток и воздействие пылевых бурь, представляет большой научный интерес. На отдельных вертикальных профилях температуры точка мезопаузы не всегда совпадает с минимальной температурой, поэтому, применяются различные методы сглаживания температурного профиля для нахождения оптимального минимума. Однако не всегда методы аппроксимации дают наилучший результат. Цель данного исследования – рассмотреть различные случаи применения алгоритма аппроксимации, а также построить карты распределения высоты мезопаузы относительно таких параметров как время года, время суток, географические координаты. Основная идея работы заключается в поиске мезопаузы около минимума среднего температурного профиля, который строится путем сглаживания вертикального профиля температуры различными методами, такими как метод скользящего среднего, приближение полиномами разных степеней и использование различных фильтров.

В данном исследовании используются данные спектрометра среднего инфракрасного диапазона Atmospheric Chemistry Suite - Middle InfraRed (ACS-MIR), установленного на орбитальном аппарате Trace Gas Orbiter (TGO) [1] с апреля 2018 года. Этот аппарат является частью европейско-русской научной миссии ExoMars 2016. ACS-MIR - это эшелле спектрометр со скрещенной дисперсией, работающий в диапазоне от 2.3 до 4.2 мкм. Его разрешающая способность составляет 30000, отношение сигнал-шум превышает 1000, а вертикальное разрешение колеблется от 0.5 до 2.5 км. Спектрометр позволяет восстанавливать вертикальные профили температуры, плотности и давления в диапазоне высот от 10 до 180 км на основе спектров пропускания углекислого газа CO₂ по сильной полосе поглощения на 2.7 мкм. [2,3].

Литература:

[1] Korablev O., Montmessin F., and ACS Team, 2018. The Atmospheric Chemistry Suite (ACS) of three spectrometers for the ExoMars 2016 Trace Gas Orbiter. Space Sci. Rev., 214:7. DOI 10.1007/s11214-017-0437-6.

[2] Belyaev D. et al., 2021. Revealing a high water abundance in the upper mesosphere of Mars with ACS onboard TGO. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL093411. DOI: 10.1029/2021GL093411

[3] Belyaev D. et al., 2022. Thermal Structure of the Middle and Upper Atmosphere of Mars from ACS/TGO CO₂ Spectroscopy. *Journal of Geophysical Research: Planets*. 127, e2022JE007286. doi: 10.1029/2022JE007286

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ В АТМОСФЕРЕ МАРСА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ ACS/TGO

Стариченко Е.Д.¹, Беляев Д.А.¹, Медведев А.С.²,
Фёдорова А.А.¹, Кораблев О.И.¹, Montmessin F.³,
Трохимовский А.Ю.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Max Planck Institute for Solar System Research, Göttingen, Germany*

³ *LATMOS/IPSL, UVSQ Université Paris-Saclay, UPMC Univ. Paris 06, CNRS, Guyancourt, France*

Внутренние гравитационные волны (ГВ) - распространение волновых колебаний в атмосфере, возникающих вследствие смещения равновесия между силой тяжести и силой Архимеда (плавучести). ГВ переносят энергию и импульс, влияя на общую динамику атмосферы планеты. В нашей работе мы рассматриваем параметры ГВ [1] и их высотное распределение в атмосфере Марса. ГВ выявляются из высотных профилей температуры, полученных из эксперимента по солнечному просвечиванию, выполняемым российским комплексом спектрометров АЦС (ACS - Atmospheric Chemistry Suite) [2] на борту аппарата Trace Gas Orbiter (TGO). В эксперименте исследуются такие параметры, как амплитуда, потенциальная энергия и ускорение ГВ. Наблюдается симметричное распределение активности волн в сезоны равноденствий на Марсе, а также смещение максимума активности в зимнее полушарие в периоды солнцестояний. Максимум ускорения ГВ совпадает с зонами слабого зонального ветра на краях сезонных зональных потоков, смоделированных с помощью модели MAOAM Martian general circulation model (MGCM) [3]. Кроме того, наблюдается разница в активности ГВ во время глобальной пылевой бури на разных высотах в регионе полярных широт.

ACS находится на орбитальном аппарате TGO, который является частью европейско-российской миссии ExoMars 2016. Он состоит из трех спектрометров ближнего – NIR (0.73-1.6 мкм), среднего – MIR (2.3-4.2 мкм) и теплового – TIRVIM (1.7-17 мкм) инфракрасного диапазона. В данной работе используются данные каналов MIR и NIR. Оба прибора позволяют восстанавливать вертикальные профили температуры и плотности по спектрам пропускания в полосах поглощения углекислого газа CO₂ в диапазоне высот – 10-180 км (MIR) [4], 10-100 км (NIR) [5]. Представленный объем данных охватывает наблюдения за два Марсианских года (MY) с середины MY34 (апрель 2018) по середину MY36 (февраль 2022). Объем данных насчитывает около 760 сеансов солнечных затмений для канала MIR и около 8550 сеансов для NIR.

Литература:

[1] Starichenko E. et al., 2021. Gravity wave activity in the Martian atmosphere at altitudes 20–160 km from ACS/TGO occultation measurements. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 126, e2021JE006899. DOI: 10.1029/2021JE006899

[2] Korablev O., Montmessin F., and ACS Team, 2018. The Atmospheric Chemistry Suite (ACS) of three spectrometers for the ExoMars 2016 Trace Gas Orbiter. *Space Sci. Rev.*, 214:7. DOI 10.1007/s11214-017-0437-6.

[3] Medvedev, A. S., & Hartogh, P. (2007). Winter polar warmings and the meridional transport on Mars simulated with a general circulation model. *Icarus*, 186, 97–110.

[4] Belyaev D. et al., 2022. Thermal Structure of the Middle and Upper Atmosphere of Mars from ACS/TGO CO₂ Spectroscopy. *Journal of Geophysical Research: Planets*. 127, e2022JE007286. doi: 10.1029/2022JE007286

[5] Fedorova A. et al., 2022. A two-Martian year survey of the water vapor saturation state on Mars based on ACS NIR/TGO occultations. *Journal of Geophysical Research: Planets*. 128, e2022JE007348. doi: 10.1029/2022JE007348

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ МОРФОЛОГИИ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ С ИХ АКТИВАЦИЕЙ В ЭКЗОСФЕРЕ БЕЗАТМОСФЕРНЫХ ТЕЛ

Столяренко П.В.¹, Кузнецов И.А.²

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

² *Институт космических исследований РАН*

Поверхность Луны заряжается под действием электромагнитного излучения Солнца, плазмы солнечного ветра, плазмы хвоста магнитосферы Земли. Пылевые частицы, находящиеся на поверхности Луны или в приповерхностном слое, испускают и поглощают фотоэлектроны, а также фотоны солнечного излучения, электроны и ионы солнечного ветра, что приводит к зарядке пылевых частиц, их взаимодействию с заряженной поверхностью Луны, перемещению и, возможно, подъему.

Получение заряда микрочастицами, лежащими на непроводящей поверхности под воздействием ультрафиолетового излучения и потоков плазмы, до конца не изучено.

Для исследования поведения пыли в электрическом поле под воздействием ультрафиолетового излучения в ИКИ РАН создана специальная установка: вакуумная камера для задания левитации частиц, стереосистема с оптической камерой для 3-D представления движения частиц над поверхностью при условии вертикального электростатического поля. С помощью применяемых методов PIV (particle image velocimetry), PTV (particle tracking velocimetry) определяются скорости движения частиц и их заряд [1,2].

Использование составных частей схожего с лунной пылью материала в качестве объекта испытаний (частицы SiO₂, Al₂O₃ и др.) с различными размерами (40-50 мкм, 10 мкм и др.), а также создание в экспериментальной установке условий максимально приближенных к лунным, использование УФ-излучения дают представление о возможной активации пылевых частиц на безатмосферных телах. Дана оценка влияния УФ-излучения для событий левитации. По результатам проводимых в настоящий момент исследований представлены условия активации, получены значения измеряемых величин (скорости, полученного заряда), показано сравнение с моделями.

Литература:

[1] Zakharov Alexander V., Poroykov Anton Yu., Bednyakov Sergei A., Lyash Andrey N., Shashkova Inna A., Kuznetsov Iliia A., Dolnikov Gennadiy G. «Recovery of dust particles trajectories in modeling physical processes in the near-surface exosphere of the moon» // Journal of the International Measurement Confederation (IMEKO). Feb.2021. Volume 171. 108831

[2] Кузнецов И.А., Шашкова И.А., Ляш А.Н., Поройков А.Ю., Бедняков С.А., Кронод Е.В., Дольников Г.Г., Дубов А.Е., Воцан О.Н., Абделаал М.Э., Попель С.И., Морозова Т.И., Карташева А.А., Столяренко П.В., Янян Т., Захаров А.В., Зеленый Л.М. Экспериментальное исследование влияния УФ-излучения на активацию имитаторов пылевых частиц реголита безатмосферных тел // *Астрономический журнал*. 2024. Принята к публикации

КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ РЕЛЬЕФОМ И ПОТОКОМ ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ НЕЙТРОНОВ

Турчинская О.И., Слюта Е.Н.

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

Отчётливой корреляции между распределением водородсодержащих аномалий по данным нейтронной съёмки, степенью освещенности и рельефом визуально не наблюдается [1, 2]. Тем не менее, аномалии с наиболее высокой концентрацией водорода все-таки имеют тенденцию к расположению на дне крупных постоянно затенённых депрессий (кратеров) [2].

Нейтронный детектор ЛЕНД, созданный в ИКИ РАН, измеряет поток вторичных нейтронов, излучаемых поверхностью Луны (нейтронное альbedo) [3]. Увеличение содержания водорода в лунном грунте снижает скорость счета эпитеpmальных нейтронов. Зарегистрированное подавление нейтронов связано с водородсодержащими летучими веществами, в основном с водяным льдом в верхнем слое лунного реголита на глубине до 1 м. Средняя скорость счета детекторов CSETN1-4 составляет 2.36 ± 0.04 имп/с, что равно примерно 46% от общей скорости счета за исключением нейтронов, создаваемых Галактическими космическими лучами в теле КА "LRO" и самим прибором LEND [4].

После обработки массива данных, предоставленных ИКИ РАН с нейтронных сенсоров CSETN1-4, нами была построена цифровая модель с разрешением 625 м/пикс [5]. Созданная карта интенсивности потока эпитеpmальных нейтронов от поверхности Луны охватывает широты от -60° до -90° широты.

Для количественного моделирования связи между рельефом Южной полярной области и интенсивностью отраженного эпитеpmального нейтронного потока была создана регулярная сеть точек с интервалом 0.1 градуса широты и долготы. В результате собран массив из более чем 1 миллиона точек, где каждая точка содержит информацию об абсолютной высоте и значении интенсивности нейтронного потока в пределах от 60° до 90° южной широты.

В целом широтное распределение водородсодержащих летучих (уменьшение счета эпитеpmальных нейтронов) коррелирует с моделью распределения потока солнечного ветра - степенью освещенности и изменением температуры поверхности [6].

Зависимость счета нейтронного потока от степени освещенности [7] в интервале 65° - 80° ю.ш. практически отсутствует. В интервале широт с 81° по 87° ю.ш. указанная зависимость постепенно возрастает и на широте 87° ю.ш. она становится максимальной, а в интервале 89° - 90° ю.ш. рассматриваемая зависимость снова уменьшается.

Зависимость счета нейтронного потока от температуры [8] в интервале 80° - 90° южной широты в районе Южного полюса, как и ожидалось, аналогична зависимости от степени освещенности - с 81° по 87° ю.ш. она также возрастает и на широте около 87° ю.ш. становится максимальной, а в интервале 89° - 90° ю.ш. зависимость постепенно уменьшается.

Распределение зависимости счета интенсивности потока нейтронов от высоты рельефа анализировалось вдоль широты с интервалами в 1 градус по долготе. При анализе графиков распределения рассматриваемой зависимости обнаружилось явное отличие поведения счета интенсивности потока нейтронов в зависимости от рельефа в пределах бассейна Южный Полюс – Эйткен (ЮПЭ) [9] и за его пределами. Следует отметить, что подобное различие от остальной области в значениях интенсивности потока нейтронов и, соответственно, в содержании водяного эквивалента водорода в зависимости от высоты рельефа, наблюдается на всей площади ЮПЭ от 60° ю.ш. до его южной границы 83° ю.ш.

В результате анализа распределения счета интенсивности потока нейтронов от высоты рельефа в Южной полярной области южнее 60° ю.ш. отчетливо различаются две обширных геоморфологических провинции – бассейн Южного Полюса – Эйткен с возрастом образования около 4.3 млрд. лет и вся остальная область за пределами этого древнего бассейна. Очевидно, что дальнейшее исследование распределения интенсивности счета потока нейтронов и, соответственно, содержания водяного эквивалента водорода в зависимости от геоморфологических структур (кратеры и валы кратеров – возвышенности), от состава пород по данным спектрального картирования, и от возраста их образования необходимо проводить на основе сравнительного анализа отдельно в каждой из выделенных провинций.

Литература:

- [1] Andreas E. L. New estimates for the sublimation rate for ice on the Moon // *Icarus*. 2007. V. 186. P. 24-30.
- [2] Arnold J.R. Ice in the lunar polar region // *J. Geophys. Res.* 1979. V. 84. P. 5659– 5668.
- [3] Starr R.D., Litvak M.L., Petro N.E. Crater age and hydrogen content in lunar regolith from LEND neutron data. *Planetary and Space Science*. 2018. V. 162. P. 105–112.
- [4] Starukhina L.V. Polar regions of the moon as a potential repository of solar-windimplanted gases// *Advances in Space Research*. 2006. V. 37. P. 50-58.
- [5] Turchinskaya O. I., Slyuta E. N., Sanin A. B., Mitrofanov I. G., Litvak M. L. The correlation between the relief and epithermal neutron flux// 55rd Lunar and Planetary Science Conference, Texas, March 11-15, 2024. Abstract # 1924
- [6] Шкуратов Ю.Г., Старухина Л. В., Кайдаш В.Г., Бондаренко Н.В. Распределение содержания ^3He по видимому полушарию луны. *Астрон. вестник*. 1999. Т.33, №5. С. 466-478.
- [7] Mazarico, E. M., G. A. Neumann, D. E. Smith, M. T. Zuber, and M. H. Torrence. 2011. "Illumination Conditions of the Lunar Polar Regions Using LOLA Topography." *Icarus* 211 1066 [10.1016/j.icarus.2010.10.030].
- [8] Williams, J.-P., B. T. Greenhagen, D. A. Paige, N. Schorghofer, E. Sefton-Nash, P. O. Hayne, P. G. Lucey, M. A. Siegler, and K.-Michael Aye (2019) Seasonal polar temperatures on the Moon, *Journal of Geophysical Research*, 124, 2505-2521.
- [9] Garrick-Bethell, I., & Zuber, M. T. (2009). Elliptical structure of the lunar South PoleAitken basin. *Icarus*, 204(2), 399–408. doi:10.1016/j.icarus.2009.05.032.
- [10] Michael G., Basilevsky A.T., Neukum G. On the history of the early meteoritic bombardment of the Moon: Was there a terminal lunar cataclysm? *Icarus* 2018. V. 302. P. 80– 103.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ CO_2 , HDO И H_2O В МЕЗОСФЕРЕ ВЕНЕРЫ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ SOIR/VEХ ЗА 2006-2014 ГГ.

Федорова Е.С., Беляев Д.А., Федорова А.А.,
Лугинин М.С., Кораблев О.И.

Институт космических исследований РАН

В атмосфере Венеры аэрозольные частицы содержатся не только в облачном слое (высоты 50-70 км над поверхностью), но и в так называемой «надоблачной дымке», в мезосфере (высоты 70-100 км над поверхностью). Как и облака, эти частицы состоят из капель водного раствора серной кислоты (75 – 80% H_2SO_4). Недавние исследования в рамках миссии Venus Express (VEx) показали, что частицы имеют субмикронные ($\sim 0,2$ мкм) и микронные (~ 1 мкм) размеры и могут образовывать отдельные плотные слои на высотах от 70 до 90 км [1, 2]. Механизм образования таких слоев до конца не известен; их формирование зависит от фотохимического взаимодействия водяного пара (H_2O) с двуокисью серы (SO_2), изотопного соотношения HDO/H_2O , а также от условий конденсации воды в мезосфере.

В данной работе представлены результаты обработки спектров пропускания CO_2 , H_2O и HDO полученных в эксперименте SOIR/VEx (Solar Occultation in the InfraRed) в режиме солнечного просвечивания. Эта работа охватывает наблюдения за весь период эксперимента SOIR, с 2006 по 2014 год. SOIR — акустооптический эшелле-спектрометр, являвшийся частью миссии Venus Express. SOIR проводил измерения в спектральном диапазоне 2,3–4,3 мкм с высокой разрешающей способностью (~ 25000), что позволило регистрировать тонкие линии поглощения таких молекул, как CO_2 , H_2O , HDO , SO_2 . Диапазон доступных высот при работе в режиме солнечного просвечивания начинается с 65-70 км (непосредственно над облачным слоем), поэтому данные SOIR идеально подходят для исследований надоблачной дымки [3]. На данном этапе в этом диапазоне высот были получены высотные профили концентраций CO_2 , H_2O , HDO , температуры и изотопного соотношения HDO/H_2O . Восстановление концентраций проводится параллельно с [4]. Однако здесь мы использовали собственный алгоритм, который был апробирован на данных спектрометрического комплекса ACS/ExoMars [3], [5], [6]. В будущем планируется использовать результаты этой работы для изучения механизмов формирования плотных аэрозольных слоев над облаками, что поможет усовершенствовать существующие химические и микрофизические модели атмосферы Венеры и реализовать будущие эксперименты на планете.

Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ №23-12-00207.

Литература:

- [1] Luginin et al., 2016. Aerosol properties in the upper haze of Venus from SPICAV IR data. *Icarus*, Volume 277. doi:10.1016/j.icarus.2016.05.008.
- [2] Luginin et al., 2018. Scale heights and detached haze layers in the mesosphere of Venus from SPICAV IR data. *Icarus*, Volume 311. doi:10.1016/j.icarus.2018.03.018.
- [3] Fedorova et al., 2008. HDO and H₂O vertical distributions and isotopic ratio in the Venus mesosphere by Solar Occultation at Infrared spectrometer on board Venus Express. *J. Geophys. Res.*, 113, E00B22, doi:10.1029/2008JE003146.

[4] Mahieux et al., 2023. The SOIR/Venus Express species concentration and temperature database: CO₂, CO, H₂O, HDO, H³⁵Cl, H³⁷Cl, HF individual and mean profiles. *Icarus*, Volume 405, doi:10.1016/j.icarus.2023.115713.

[5] Fedorova et al., 2020. Stormy water on Mars: The distribution and saturation of atmospheric water during the dusty season. *Science*, 367. eaay9522. doi:10.1126/science.aay9522.

[6] Belyaev et al., 2021. Revealing a High Water Abundance in the Upper Mesosphere of Mars With ACS Onboard TGO. *Geophysical Research Letters*, 48. e2021GL093411. doi:10.1029/2021GL093411.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СНИМКОВ ЛУНЫ

Шомахова Н.А.

ГБОУ Школа №67

Относительная близость Луны к Земле и возможность умеренно отражать свет, излучаемый Солнцем, делали проведение исследований по описанию лунных явлений возможным для учёных на протяжении последних трёх тысяч лет. Сейчас же проведение таких научных работ стало доступным, благодаря обширному количеству дополнительных источников информации и свободной продажи телескопов с увеличением в 100–300 раз. Новая лунная гонка, стартовавшая в 2023 году, снова пробудила интерес к подобным исследованиям, поэтому на данный момент, когда передовые державы продумывают собственные разработки лунных миссий, связанных не просто с наблюдением, но и с добычей полезных ископаемых на Луне, необходимо понять природу постоянных процессов, протекающих на этом спутнике.

Целью данной работы было получить снимки Луны, используя специальное оборудование, и провести анализ наблюдаемых на фотографиях процессов.

Для получения соответствующих результатов были поставлены несколько задач:

1. Получить серию снимков, взятых в разные дни и в разное время суток.
2. Определить возможность наблюдения видимых лунных процессов, таких как либрация, свечение, изменение яркости и цвета поверхности спутника.
3. Обнаружив изменение положения обширной части рельефа, например, определённого моря, с помощью наложения фотографий с ориентацией по разным структурам Луны (по видимой границе спутника, по кратерам, близким к географическим полюсам, по оси вращения), понять, какой метод даёт более точный результат, т. е. демонстрирует наиболее вероятное смещение.
4. Дать оценку итоговому совмещению снимков и объяснить величину смещения.
5. Заметив изменение цвета поверхности Луны, создать спектры, отображающие разницу в оттенках, сопоставив их с временем, в течение которого были сделаны фотографии.
6. Описать зависимость цвета Луны относительно положения спутника в небе.
7. Подвести итоги анализа.

По ходу выполнения вышеперечисленных этапов работы, была выявлена гипотеза о возможности наблюдения оптической либрации на протяжении трёх ночей, идущих одна за другой, и подтверждена зависимость цвета Луны от времени, в котором были сделаны снимок.

При обнаружении изменения в положении некоторых структур рельефа спутника были предложены и проверены три варианта обнаружения траектории смещения моря Ясности с помощью наложения фотографий по различным структурам Луны. Методы наложения по видимой границе спутника и по кратерам, расположенным у полюсов спутника, были определены как ошибочные, так как в результате направление либрации оказывалось беспорядочным, а смещение выглядело неправдоподобно большим. Вариант наложения по оси вращения наиболее точно показал смещение моря Ясности.

Полученные при обработке снимков цвета, которые принимали валы кратеров, соответствуют теории о рассеивании определённых волн света, исходящего от Луны, в атмосфере Земли, т. е. наиболее близкому к горизонту положению спутника соответствовал более коричневый оттенок кратера, потому что в этом случае свет должен проходить через больший объем атмосферы, значит сталкиваться с большим количеством отражающей пыли, а чем ближе Луна была к зениту, тем ярче она светилась.

Для дополнения анализа цветовых спектров имеет смысл провести специальное исследование поверхности Луны во время полного лунного затмения. Это явление можно наблюдать в Москве 7 сентября 2025 года. Тогда в характеристики, от которых зависит изменение цвета Луны, будет добавлено положение Земли относительно Луны и Солнца.

КОРРЕКЦИЯ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ДЛЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО КОРОНОГРАФА С МАЛЫМ УГЛОМ ВРАЩАТЕЛЬНОГО СДВИГА

Шульгина И.В., Юдаев А.В., Тавров А.В.

Институт космических исследований РАН

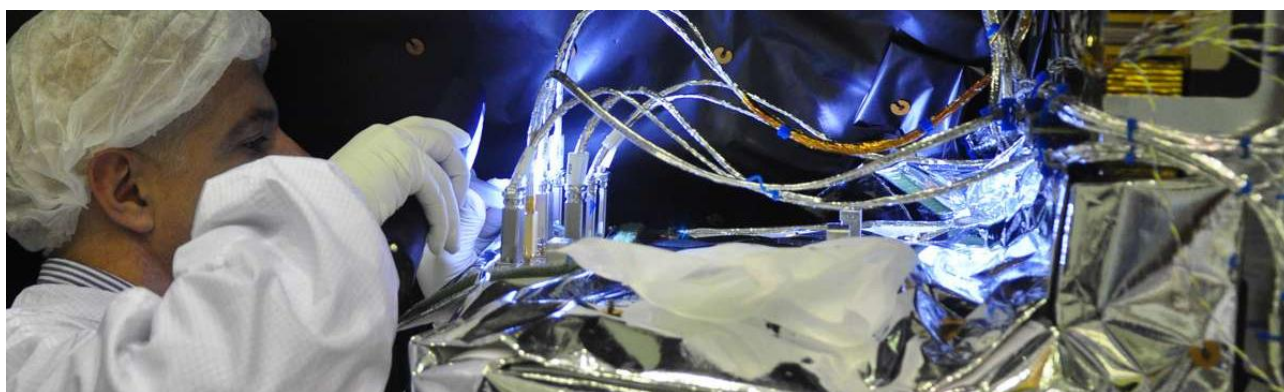
Экзопланеты - это планеты, находящиеся за пределами нашей Солнечной системы, и их обнаружение возможно только путем измерения незначительных изменений в движении звезды, вокруг которой они вращаются, или же уменьшения блеска родительской звезды при прохождении планеты между звездой и наблюдателем. Исследование экзопланет усложняется тем, что экзопланеты намного тусклее своих звезд и имеют размеры, сравнимые с размерами Земли или Юпитера (массы до 13 масс Юпитера). Метод прямого наблюдения относится к получению изображения экзопланеты как точечного источника. Это может быть либо в отраженном свете от родительской звезды (в видимом диапазоне), либо в результате ее собственного теплового излучения (в инфракрасном диапазоне). В настоящее время поиск экзопланет методом прямого наблюдения является одной из развивающихся технических задач и пока позволяет обнаруживать экзопланеты на больших орбитах у близких звезд[1].

Для прямого наблюдения экзопланет применяются высококонтрастные методы, такие как коронографы и специальные аподизации. В данной работе разрабатывается интерференционный коронограф с малым углом вращательного сдвига. Свет звезды, собираемый телескопом, делится на две равные по интенсивности волны, между которыми вносится фазовый сдвиг на π , так что в результате волны интерферируют в противофазе и гасятся. Благодаря тому, что звезда при специальном гидировании является осевым источником, а планеты - неосевыми источниками света, то при интерференции волн, мы получаем не погашенные изображения экзопланет.

В данной работе представлены исследования, где моделировали Солнечную систему, рассматриваемую через телескоп и коронограф. При угловом размере родительской звезды равному размеру Солнца, наблюдаемому телескопом с диаметром $D = 2,4$ м (HST) на длине волны $\lambda = 500$ нм на расстоянии 10 пк, что составляет $\approx 0.02\lambda/D$, мы можем наблюдать планеты начиная с Юпитера со значениями светимости от 10^{-9} до 10^{-12} . Наведение телескопа (гидирование) происходит с ошибкой по углу, то показано, что при ошибках со значением на порядок углового размера звезды 1 угловая миллисекунда мы еще можем наблюдать планеты на расстоянии $12\lambda/D$ отчетливо. Поэтому предусмотрен внутренний механизм точного гидирования. Коррекция волнового фронта посредством жидкокристаллического фазового модулятора с числом пикселей 1000×2000 позволяет дополнительно получить требуемое качество изображения в оптической системе для режима высокого контраста.

В планах исследования объединение интерферометрии и принципов аподизации для увеличения контраста изображения планет и снижения требований к точности гидирования и др. инструментальным погрешностям. Дополнительно открывается практическая возможность обнаружения более близких землеразмерных планет.

КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ



СЕЛЕКТИВНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СПЕКАНИЕ ЛУННОГО ГРУНТА АНАЛОГА

Агапкин И.А., Сорокин Е.М.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук

Введение. На сегодняшний день наиболее перспективным подходом для создания лунной базы является концепция использования ресурсов на месте (In-Situ Resource Utilization) и применение аддитивных технологий (АТ) с использованием лунного реголита. Метод селективного лазерного спекания позволяет использовать реголит, исключая необходимость в использовании дополнительных материалов и сложного оборудования.

Образцы и подготовка. Размер частиц лунного реголита близок к размеру частиц земного вулканического пепла. Кроме того, некоторые вулканические пеплы могут быть схожи с лунным реголитом по химическому и минералогическому составу. С точки зрения использования АТ наиболее важным требованием к аналогу лунного реголита является имитация химико-минералогического состава лунного реголита. Для данного исследования в качестве имитатора лунного реголита были взяты образцы с вулкана Толбачик (полуостров Камчатка). Для определения химического состава образцов Толбачика и сравнения с образцом миссии "Аполлон-12" с низким содержанием Ti был использован метод рентгеновской флуоресценции (РФА), который показал близкий химический состав между образцами. Минеральный состав образцов Толбачика был также определен с помощью рентгеноструктурного анализа: плагиоклазы (45%), калиевый полевой шпат (4,8%), пироксены (39,7), оливин (10,5%). Содержание аморфной фазы может достигать 30%.

Производственное оборудование и процесс спекания. В эксперименте использовалась установка BetaMark 200 с Nd-YAG лазером. Важным этапом исследования является поиск наиболее подходящих настроек для спекания. Основным критерием при спекании является наименьшая затрата времени и энергии. Для выполнения процесса спекания использовались следующие настройки установки: частота лазерных импульсов 2 кГц, скорость лазера 30 мм/сек, ток 16 ампер, длительность импульса 200-250 мкс (работа без прерывания лазера). Лазерное спекание проводилось в 3 прохода (2 лицевых, 1 оборотный), в результате была изготовлена деталь в форме пластины размерами 10 x 10 x 3 мм. Время изготовления составило около 1 минуты. Толщина слоя порошка составляла 1 мм и в процессе эксперименты подсыпка выполнялась 3 раза.

Результаты. На данном этапе проведен анализ образца до и после спекания с помощью сканирующего электронного микроскопа, который показал хороший процент спеченных частиц (более 50%), что подтверждает правильность выбранных параметров спекания. Планируются дальнейшие исследования с различными материалами, подходящими в качестве аналога лунного реголита, с последующей оценкой изменения химико-минералогического состава после спекания и определения прочностных свойств изготовленных деталей.

ФИЗИЧЕСКИЕ КАЛИБРОВКИ ПРИБОРА «БТН-М2»

Аникин А.А.¹, Митрофанов И.Г.¹, Головин Д.В.¹,
Мокроусов М.И.¹, Лисов Д.И.¹, Швецов В.Н.²

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Объединенный институт ядерных исследований*

В настоящее время особенно важной является задача определения дозы ионизирующего излучения, которую может получить космонавт или астронавт во время пребывания в космосе, в частности на околоземной орбите. Для решения этой задачи проводится эксперимент под названием "БТН-Нейтрон". В рамках этого эксперимента были созданы два прибора – БТН-М1 и БТН-М2 – которые устанавливаются на борту российского сегмента МКС.

БТН-М1 был установлен снаружи модуля «Звезда» еще в 2007 году и собрал большое количество информации о нейтронном и гамма- радиационном фоне вблизи МКС, включая его пространственную и временную переменность. Этот фон возникает из-за облучения самой станции и верхних слоев атмосферы Земли энергичными частицами галактических и солнечных космических лучей.

На втором этапе эксперимента "БТН-Нейтрон" в 2025 году будет внутри гермоотсека модуля «Наука» будет установлен прибор БТН-М2. Ключевой особенностью нового прибора является наличие съемных композитных экранов из определенного сочетания водородо- и боросодержащих материалов для замедления и поглощения нейтронов различных энергий. Путем сопоставления измерений с экранами и без них можно будет проанализировать эффективность данной защиты и определить возможность использования ее для создания "радиационных убежищ" на будущих межпланетных космических кораблях. Ожидается, что два прибора будут работать одновременно, что позволит оценивать потоки нейтронов внутри и снаружи МКС.

Для интерпретации научных и инженерных данных в космических условиях, как правило, проводятся наземные физические калибровки. БТН-М2 в своем составе имеет 5 детекторов: 3 из них основаны на пропорциональных He3-счетчиках, один – сцинтилляционный счетчик быстрых нейтронов на основе стильбена и один гамма-детектор на основе СеВr3-сцинтиллятора. Калибровки гамма-детектора проводились в ИКИ РАН с помощью реперных источников ОСГИ различных энергий, а калибровки нейтронных счетчиков проводились в специализированном помещении, Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ (г. Дубна) с использованием нейтронных источников с разным энергетическим спектром.

В данном докладе представлены описание эксперимента БТН-Нейтрон и методика его проведения на МКС, а также рассмотрены основные характеристики прибора, полученные в ходе наземных физических калибровок летного образца БТН-М2.

БЕСКОНТАКТНЫЙ ПОЛИФИЛЯРНЫЙ РАЗЪЁМ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

Глушкова В.С.

МБОУ СОШ №12, город Королёв

Под бифиляром понимают систему из двух рядом расположенных проводников электрического тока. В бытовой технике такая система часто известна под названием витая пара. Бытовой электрический ток обычно однофазный: один провод соответствует фазе, второй нулю. Современные международные стандарты требуют повысить безопасность введением третьего, защитного, заземлённого провода. Фактически получается трифиляр. В звуковой аппаратуре для получения стереоэффекта нужны два двужильных провода, что соответствует квадрафиляру. Все перечисленные варианты можно обобщить одним термином – полифиляр, то есть множество проводников электрического тока, расположенных рядом. Бифилярную катушку индуктивности запатентовал Никола Тесла в 1894 году. В 1971 году, с развитием высокочастотной техники, появился бифиляр Купера, тоже состоящий из двух близко расположенных проводников, электрические токи в которых протекают в противоположных направлениях, как в бытовой витой паре. Возможны четыре варианта соединения проводников в бифиляре, но наиболее известен, конечно, бифиляр Николы Теслы. Это обусловило исторические загадки и парадоксы, связанные с именем известного инженера и учёного. Парадоксы объясняются законами физики с учётом резонансных свойств образующихся из двухпроводных линий колебательных контуров. В этой работе резонансные свойства не изучаются.

Цель работы заключается в практическом применении полифиляра для бесконтактной передачи электроэнергии. Такая передача уже используется в док-станциях для зарядки аккумуляторов телефонов и фотоаппаратов, но большие мощности – это перспектива.

Для достижения цели работы были намечены три задачи. Во-первых, необходимо было создать несколько вариантов полифиляров для практического и теоретического объяснения необычных, на первый взгляд, явлений. Во-вторых, перед публичным обсуждением полученных результатов обязательно нужно было запатентовать созданные учебно-демонстрационные и лабораторные установки с целью правовой защиты результатов интеллектуальной деятельности. Наконец, в-третьих, требовалось обосновать рациональность беспроводной передачи электроэнергии, пусть даже на очень малое расстояние. Главными характеристиками устройства при решении третьей задачи были безопасность и бесконтактность потребителя с источником электропитания.

Методы решения сформулированных задач были определены как лабораторные исследования, так и теоретические расчёты характеристик катушек индуктивности. Перечень лабораторного оборудования определился сразу: провода и кабели с различным количеством токоведущих жил, от одной до восемнадцати, радиодетали, слесарный инструмент, осциллограф, вольтметр, мультиметр. В качестве индуктора было решено применить конфорку от бытовой индукционной плитки, работающей на частоте 20-50 кГц.

Первый эксперимент с бифиляром из двадцати витков бытового двужильного провода подтвердил известный факт о бесконтактной передаче электроэнергии от индуктора к лампе накаливания мощностью 60 Вт, а также к более мощной активной нагрузке (утюгу, кипятильнику, нагревателю мощностью 2000 Вт). Сразу было объяснено, почему от бифиляра не работает вентилятор – это следствие большого индуктивного сопротивления.

Тут же было показано, что, напротив, конденсатор прекрасно проводит высокочастотный электрический ток. При измерениях характеристик приборов надо учитывать не только коэффициент полезного действия, но ещё так называемый «косинус фи» - все домыслы о вечном двигателе и свободной энергии эфира тут же рассеиваются.

Для проведения более детальных исследований были созданы специальные лабораторные установки «Учебный бифиляр» и «Универсальный переключаемый полифиляр», на которые автором поданы две заявки на патенты на полезные модели. Вторая упомянутая установка является гексафиляром, содержит 6 близко расположенных проводников с током в намотке 42 витка. В режиме работы единичной катушки индуктивности эта установка доказала, что бифиляр работает именно так, без каких-либо парадоксов.

Практическое применение полифилярных катушек предложено для создания бесконтактных разъёмов на космических аппаратах. Это важно для удобной и безопасной работы космонавтов в открытом пространстве. Предложены три варианта учебного бифиляра, на который подана заявка на патент. В каждом бифилярном разъёме происходит бесконтактная передача электроэнергии.

Выводы.

1. Предложено применить полифилярный разъём на практике для передачи электрической энергии в специальных условиях работы, например, в космосе.
2. Полифилярный разъём между индуктором и приёмником полностью бесконтактный, не требует точной ориентации деталей друг относительно друга.
3. Бесконтактный разъём не нагревается, обеспечивая термическую безопасность.
4. Бесконтактный разъём не искрит, обеспечивая пожаровзрывобезопасность.
5. Электрическая безопасность повышается, так как применяется высокочастотный ток, который не так опасен для человека, как низкочастотный.

ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ГРАВИТАЦИОННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ

Голубев А.М.

ФГБОУ ВО НИУ "Московский авиационный институт"

Исследование началось с обсуждения простейшего опыта. Деревянная рейка была привязана к верёвке. Потом верёвка была раскручена. Цель эксперимента заключалась в выяснении вопроса о положении рейки во время вращения. Оказалось, что неподвижная рейка висит вертикально, но при раскрутке занимает горизонтальное положение. Вращение может происходить только относительно центра масс. Значит, таким способом можно найти эту точку экспериментально, а потом применить результат для космических аппаратов (КА).

При первых опытах появился вопрос о причине изменения положения вращающегося предмета. Цель заключалась в определении положения центра масс на вращающемся предмете. Современные фотоаппараты позволяют работать с маленькими выдержками. Для проверки гипотезы нужно было убедиться, что фотоаппаратом можно изучать быстрое вращение деталей. Когда рейка вращается, на ней нельзя поставить точку, но зафиксировать положение центра масс нужно. Появилось предложение применить аналог метода хроматографии. Поэтому на рейке заранее были нарисованы разноцветные линии: синяя, красная, зелёная, чёрная. На фотографии видно, рядом с какой линией находится центр масс.

Первые полученные результаты были применены для изучения движения космических аппаратов по орбитам вокруг Земли. Системы стабилизации и ориентации нужны практически во всех космических аппаратах. При изучении движения спутника по орбите нельзя применять простейшую модель об однородном поле тяжести Земли. Хотя по этой модели всё просто, вытянутый космический аппарат всегда находится в равновесии при любом повороте на орбите. Однородная модель поля тяжести предполагает, что Земля плоская и бесконечная. Если бы такая ситуация была в действительности, то об орбитах и искусственных спутниках Земли даже говорить не нужно.

Искусственные спутники существуют на орбитах из-за шарообразной формы Земли. В центральном поле тяжести Земли вектор ускорения свободного падения не имеет постоянного направления, и его величина подчиняется закону обратных квадратов – чем ближе к центру тяготения, тем больше величина силы тяжести. Появилась задача о положении космического аппарата в центральном поле Земли. В отличие от однородного поля тяжести, только одно положение предмета на орбите будет устойчивым. Оказалось, что такое положение связано с вращением конструкции вокруг центра масс, как линейки на верёвке. Действительно, при повороте центр масс остаётся неподвижным. Значит, конструкция будет двигаться подобно вращающейся рейке, но только медленно. Космический аппарат будет стремиться повернуться к устойчивому положению, но тоже очень медленно из-за малого различия в силах тяжести его частей. Если космический аппарат имеет вытянутую форму, то он повернётся вдоль силы притяжения.

Для гравитационной стабилизации нужна вытянутая форма КА. Модели вытянутых конструкций изготовлены из бумаги. В моделях учтены особенности для перспективного исследования. Главная особенность, выносимая на защиту, - это управление положением КА на орбите посредством изменения формы конструкции. В моделях предусмотрены выдвигаемые блоки по трём координатным осям. Если нужно развернуть КА на орбите определённой осью по местной вертикали, то выдвигается блок именно вдоль этой оси. КА

становится удлинённым по выбранной оси и разворачивается с помощью гравитационных сил. Модели космических аппаратов изменяемой формы изготовлены из бумаги в виде удлинённого параллелепипеда и куба. Так как вращение конструкции возможно вокруг трёх координатных осей, то предусмотрены три системы выдвижных блоков. В модели предложены телескопические механизмы из трёх деталей, выдвижных из главного корпуса или убираемых в него. Выдвижение происходит в зависимости от требования развернуть космический аппарат на орбите вокруг определённой оси, не обязательно основной. Изготовленные бумажные модели были испытаны на вращение таким же способом, как и рейка. Эксперименты с вращением изготовленных моделей подтвердили правильность гипотезы о гравитационной стабилизации космического аппарата. Во время опытов выдвигались различные блоки конструкции, при этом изменялось положение КА при вращении, которое моделирует гравитационную стабилизацию и ориентацию.

Выводы.

1. Доказана возможность гравитационной стабилизации и ориентации КА.
2. Предложено изменять форму КА на орбите для управления ориентацией аппарата.
3. Изготовлены макеты космических аппаратов изменяемой формы.
4. Выполнена экспериментальная проверка гипотезы на созданных макетах.
5. Определены перспективы работы, продолжается поиск рациональных форм КА.

Перспектива работы заключается в расчёте эффекта гравитационной стабилизации КА и необходимых для этого удлинений конструкции. С точки зрения большого удлинения интересны тросовые системы. В свёрнутом виде трос занимает мало места, а в развёрнутом может создать очень большое удлинение между связанными отсеками космических аппаратов.

ДВУХГОЛОВЫЙ ЗВЕЗДНЫЙ ДАТЧИК ОРИЕНТАЦИИ. АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ

Дементьев В.Ю., Василейская А.Н.

Институт космических исследований РАН

Для определения углового положения космического аппарата используются различные типы звездных датчиков. В настоящее время широкое распространение получили приборы с многоблочным представлением, когда в одном приборе сочетается сразу несколько звездных датчиков. Конструктивная особенность таких устройств заключается в разделении оптической и вычислительной части между собой. При таком исполнении применяется сразу несколько оптических головок (ОГ), подключаемых к одному блоку обработки данных (БОД). Такая реализация в комплексе с другими мерами обеспечивает высокую надежность, точность и помехозащищенность прибора. Функционирование прибора гарантируется даже в тех случаях, когда одна из ОГ становится временно дисфункциональной, например, от ослепления Солнцем. В этом случае поддержание ориентации осуществляется за счет других работающих ОГ, не подверженных ослеплению.

Двухголовый звездный датчик ориентации представляет собой современную разработку института космических исследований (ИКИ РАН). В состав такого устройства входят один БОД и две ОГ, образующих два независимых измерительных полукомплекта. Каждая ОГ содержит светосильный объектив, однокаскадную бленду и матрицу на КМОП-основе.

Алгоритм работы двухголового звездного датчика состоит в следующем. После экспозиции на матрице прибора запечатлевается видимое изображение звездного неба. На полученном снимке ищутся группы связанных пикселей, возвышающиеся над уровнем фона и составляющие единый объект. Для найденных объектов определяются координаты их центров, величина блеска и взаимные угловые расстояния. После отождествления выбранных объектов с астрономическим атласом неба каждый полукомплект прибора формирует и передает в бортовой комплекс управления (БКУ) информацию об ориентации в виде кватерниона ориентации.

В докладе описаны различные режимы двухголового звездного датчика ориентации. Представлена блок-схема режима работы с предварительно известной априорной ориентации, задаваемой с различной степенью точности. Время выдачи ориентации в этом режиме минимизировано при наличии безошибочной априорной информации. Это дает возможность практически мгновенно восстановить работоспособность ОГ после кратковременной потери ориентации. Также в докладе представлены возможности алгоритма, позволяющие сохранять высокую точность измерений прибора при длительной эксплуатации в космосе. Рассматриваются вопросы пересчета параметров оптической модели и обнаружение дефектных пикселей непосредственно в полете.

МЕТОДИКА НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВУХГОЛОВОГО ЗВЕЗДНОГО ДАТЧИКА ОРИЕНТАЦИИ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСА СТЕНДОВ

Дементьев В.Ю.

Институт космических исследований РАН

Наземную отработку программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) двухголового звездного датчика ориентации обеспечивает комплекс стендов, включающих работу с одной или двумя оптическими головками (ОГ). В круг задач, решаемых на стендах, входят: определение работоспособности прибора, оценка правильности функционирования в различных режимах, измерение основных характеристик и параметров, а также диагностика неисправностей отдельной ветвей и всего алгоритма в целом. Все испытания с прибором проводятся в соответствии с документацией на основе требований технического задания (ТЗ) и протокола информационного обмена.

Первоначально используется стенд, взаимодействующий с одной ОГ. Тестирование ведется с одним измерительным полукомплексом. В поле зрения ОГ моделируются различные статичные изображения небесной сферы. В каждом эксперименте угловые параметры ориентации, вычисленные прибором, сравниваются с известными координатами цифровой модели звезд. Выполняется контроль надежности распознавания, проводится оценка быстродействия и точности измерений. В динамике, когда фрагмент небесной сферы перемещается в реальном времени, реализуется имитация орбитального полета космического аппарата (КА) с построением соответствующей траектории движения. Для создания максимальной достоверности космических условий на стенде предусмотрена возможность ухудшения светооптической обстановки, регулируемая в том числе и в процессе полета.

Далее осуществляется переход на стенд, предназначенный для работы с двумя ОГ. Здесь происходит полноценная отработка двухголового звездного датчика ориентации, объединяющая показания с двух измерительных полукомплектов. На стенде моделируется орбитальный полет КА с синхронным включением двух ОГ. Рассматриваются различные варианты моделирования по заданной орбите, включая возможность разворота ОГ относительно системы координат КА. Помимо моделирования динамики КА исследуется широкий набор нештатных ситуаций, охватывающий весь спектр логического и информационного обмена с бортовым комплексом управления. В процессе испытаний на стенде генерируются разнообразные ситуации, провоцирующие сбои с каждой ОГ попеременно. При потере ориентации ОГ производится проверка восстановления ее работоспособности по показаниям другой ОГ.

В случае необходимости ПАО двухголового звездного датчика ориентации корректируется с возобновлением исходных проверок. По завершении испытаний подтверждается правильность всех заложенных алгоритмических решений и соответствие требованиям ТЗ. Составляется отчет стендовых испытаний, вмещающий результаты всех проведенных проверок. Средние значения ключевых параметров прибора и их флуктуации впоследствии сопоставляются с данными других испытаний, компьютерного моделирования и натурального эксперимента.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ДВУХГОЛОВОГО ЗВЕЗДНОГО ДАТЧИКА ОРИЕНТАЦИИ

Дементьев В.Ю.

Институт космических исследований РАН

В процессе проведения наземных испытаний с двухголовым звездным датчиком ориентации, аккумулируется большой массив телеметрических данных. Тактовая частота работы одного полукомплекта прибора составляет 4Гц. Суммарный объем передаваемой информации на каждом такте может достигать до 832 байтов (в зависимости от количества запрашиваемых массивов). Это соответствует приблизительно 3 килобайтам информации в секунду, 10 мегабайтам информации за час и 0.25 гигабайтам информации за один день непрерывной работы (с учетом только одного полукомплекта прибора). При одновременной работе двух полукомплектов, представленные цифры умножаются на 2.

Это обстоятельство обуславливает создание специальных инструментов, обеспечивающих оперативную обработку поступающей телеметрической информации. Для этих целей был разработан программный комплекс, осуществляющий структурирование, каталогизирование и быстрый анализ телеметрических данных. Стало возможным получение обширной статистики на протяжении всего эксперимента, а также на ограниченном временном участке. Была реализована возможность выборки значений ключевых параметров прибора в соответствии с режимом работы или по заданному критерию отбора. Это позволило ежетапно отслеживать актуальное состояние прибора, регистрировать аномальные значения параметров и своевременно устранять обнаруженные отклонения. Благодаря этому коррекция текущего программно-алгоритмического обеспечения прибора проходила с минимальной временной задержкой после завершения испытаний.

Отличительной особенностью программного комплекса является сочетание пакетной и потоковой обработки телеметрии. В случае представления телеметрии, распределенной во множестве файлов, имеется возможность объединять все данные в один общий сеанс работы. Другим важным качеством программного комплекса является его устойчивость к искажению, порче или нехватке части телеметрии. Это ситуация нередко возникает при случайных сбоях во время протоколирования или передачи информации. При этом разработанный комплекс позволяет проводить обработку телеметрической информации, как с различных наземных экспериментов, так и с борта космического аппарата.

В докладе продемонстрированы возможности программного комплекса на примере обработки файлов протоколов с различных испытаний, проведенных с двухголовым звездным датчиком ориентации. Приведен расчет точности прибора на основе показаний двух полукомплектов, зарегистрированных в процессе натуральных испытаний и обработанных программно специальным образом. Также представлены другие характеристики прибора и его ключевые параметры, измеренные автоматизировано с помощью программного комплекса.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВУХГОЛОВОГО ЗВЕЗДНОГО ДАТЧИКА ОРИЕНТАЦИИ

Дементьев В.Ю.

Институт космических исследований РАН

Наземная отработка программно-алгоритмического обеспечения двухголового звездного датчика ориентации проводилась на базе специализированного комплекса стендов и в условиях натурального эксперимента.

Стендовые испытания позволяют проверить работоспособность прибора посредством формирования в его поле зрения цифровой модели звездного неба. Такая реализация дает возможность осуществлять отработку прибора непрерывно, вне зависимости от погодных условий. При проведении испытаний на стенде моделировались разнообразные картины звездного неба, включающие имитацию орбитального полета космического аппарата. Рассматривался широкий набор проверок штатного и нештатного взаимодействия с прибором, охватывающего весь спектр логического и информационного обмена с бортовым комплексом управления. Результаты всех тестов признаны положительными, получено подтверждение требованиям протокола информационного обмена.

Натурные испытания позволяют проверить работоспособность прибора по реальным созвездиям звездного неба. В процессе натурального эксперимента использовалась поворотная платформа, позволяющая осуществлять вращение и наведение прибора на различные участки небесной сферы. В каждом проведенном сеансе выполнялось распознавание видимых конфигураций звезд. С учетом выбранного положения прибора были зафиксированы соответствующие кватернионы ориентации.

По результатам наземных испытаний были измерены основные характеристики прибора, получено подтверждение всех требований технического задания. Были определены границы работоспособности прибора в различных режимах функционирования. Установлено, что время расчета ориентации при неизвестной априорной информации составляет в среднем 2.5 с. В случае известной априорной информации время расчета ориентации сокращается в два раза и составляет уже 1.25 с. Максимальная скорость движения в режиме первоначального поиска ориентации составляет 2 град/с, а в режиме непрерывного расчета ориентации 8 град/с. Оценка влияния угловой скорости на точность измерения параметров ориентации была проведена путем измерения углового расстояния между оптическими осями двух головок, входящих в состав прибора. Построены графики зависимости СКО случайной составляющей погрешности измерений от полной скорости вращения.

В рамках дополнительных исследований была проведена оценка фотометрических характеристик прибора. Доказана надежность работы двухголового звездного датчика ориентации при наличии Луны в поле зрения.

СТЕНДОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВУХГОЛОВОГО ЗВЕЗДНОГО ДАТЧИКА ОРИЕНТАЦИИ

Дементьев В.Ю., Зарецкая Е.В., Шамис В.А.

Институт космических исследований РАН

Тенденция к переходу звездных датчиков ориентации к многоблочному представлению ставит актуальную задачу по разработке стендового оборудования и программных средств для их наземной отработки. Особенностью функционирования таких приборов является наличие нескольких параллельно работающих оптических головок (ОГ), находящихся под управлением одного блока обработки данных (БОД). БОД обрабатывает получаемые с ОГ изображения и рассчитывает текущую ориентацию в инерциальном пространстве для каждой из них.

В связи с разработкой в ИКИ РАН двухголового звездного датчика ориентации, было создано два аппаратно-программных стенда, позволяющих работать как с одной ОГ так и с двумя ОГ одновременно. Комплекс стендов предназначен для проверки функционирования двухголового звездного датчика ориентации, отладки его программно-алгоритмического обеспечения и проведения различных наземных испытаний. В состав каждого стенда входят: жидкокристаллический монитор (или планшетный компьютер, в зависимости от модификации), коллиматорный объектив, а также персональный компьютер (ПК). Визуализация звезд осуществляется на экране монитора с помощью специального программного обеспечения (ПО), хранящегося на жестком диске ПК. ПО стенда позволяет моделировать статические и динамические изображения звезд, отражающие неподвижное положение космического аппарата и имитацию его движения по орбите. В процессе моделирования происходит пересчет сферических координат звезд (склонение и прямое восхождение) в прямоугольные и их последующее отображение на плоскость экрана монитора. На выходе коллиматора, установленного между ОГ и монитором, от каждого из изображений звезд формируется параллельный пучок света. За счет применения коллиматора удается создать оптическую иллюзию удаления изображений звезд от ОГ в бесконечность.

Преимущество использования разработанного специализированного оборудования заключается в том, что кадры, полученные двухголовым звездным датчиком ориентации на стендах и реального звездного неба практически неотличимы между собой. Это дает возможность проводить отработку прибора непрерывно и в полном объеме, что выгодно отличается от натурального эксперимента, сопряженного с разного рода ограничениями: погодными условиями, учетом влияния рефракции и др.

В докладе рассматриваются вопросы технической реализации стендового оборудования, а также особенности его программного обеспечения.

РЁЛОХОД КАК НОВЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ ДЛЯ ПЛАНЕТОХОДА ПО НЕОПРЕДЕЛЁННЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

Кирнева К.Д.

МБОУ СОШ №12, город Королёв

Тема работы появилась в результате исследования особенностей практического применения треугольника Рёло. В процессе изучения космической техники появилась идея применить треугольник Рёло в шагающем двигателе, в том числе для планетоходов. Исследование планет связано с неопределённостью их поверхности. Речь идёт о планетах земной группы и их спутниках, обладающих твёрдой поверхностью. Обычные шагающие механизмы вряд ли могут быть применены, потому что традиционная, природная шагающая траектория обладает очень малой высотой подъёма опоры – не более 20 – 25% от длины шага. Если препятствие окажется выше, то шагающая машина споткнётся. Значит, надо увеличить проходимость планетохода методом увеличения подъёма опоры над препятствием. В традиционной шагающей машине для этого потребуется увеличить длину шага, но тогда значительно возрастут габариты конструкции. Появилась задача поиска нового технического решения для повышения проходимости планетохода. Оказалось, что есть механизм, в котором высота подъёма опоры равна длине шага. Это грейферный механизм, в котором рабочий шатун опоры движется по периметру квадрата. Высота подъёма опоры равна длине шага. Сначала был изготовлен единичный механизм для проверки характеристик. Затем было изготовлено 8 механизмов для двух сборок модели мотоблока планетохода. Модель была изготовлена, испытана, исследована. Гипотеза о повышенной проходимости машины полностью подтвердилась. Но скорость движения оказалась почти в три раза меньше, чем для аналогичной шагающей машины П.Л.Чебышева. Учитывая, что шагоход – это не гоночная машина, а внедорожник, такой недостаток не особо существенный для дальнейшего изучения конструкции в качестве перспективного двигателя планетохода.

РЕГИСТРАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН, ГЕНЕРИРУЕМЫХ БИООБЪЕКТОМ, ДАТЧИКОМ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Мамеко О.В.², Трещёв К.Г.¹, Измайлов Г.Н.¹

¹ *Московский авиационный институт (НИУ)*

² *Технологический университет г. Королев МО*

Освоение ближнего и дальнего космоса – актуальная цель стран с передовыми технологиями. Очевидно, что нужны новые методы изучения и регистрации новых условий обитания. Уже в ранних экспериментах обнаружилось отличие температуры живых растений от мёртвых, влияние внешних факторов на температуру живых растений. Элементарная ячейка фито- и био-объектов – клетка - содержит молекулы воды, которые вследствие метаболизма начинают коллективные согласованные движения. Такой тип движения вызывает электромагнитное излучение в невидимом терагерцовом (ТГц) диапазоне ($\sim 10^{12}$ Гц). Эти предположения легли в основу исследования, направленного на регистрацию излучения молекул воды в ТГц-диапазоне и определения условий создания когерентности излучения. В докладе представлены схемы и результаты измерений излучения био-объектов в ТГц диапазоне электромагнитных волн.

ВЫБОР ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА СОЛНЕЧНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОСТАВЕ НАУЧНЫХ ПРИБОРОВ, ТРЕБУЮЩИХ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ НА СОЛНЦЕ

Матюхин А.А., Соловьёв К.Ю.

Институт космических исследований РАН

В основном солнечные датчики являются частью системы ориентации космических аппаратов. Однако также существует их нишевое применение в составе научной аппаратуры для изучения Солнца, где информация от солнечного датчика необходима для корректной интерпретации полученных данных, но не всегда может быть получена прибором от служебных систем для предварительной обработки на борту.

В зависимости от используемого чувствительного элемента солнечные датчики можно классифицировать на косинусные, фасеточные и позиционно-чувствительные. В первом случае используются простейшие фотодетекторы: фоторезистор, фотодиод или фототранзистор – в которых величина выходного параметра меняется в зависимости угла падения солнечного излучения. Фасеточные датчики представляют собой набор разноориентированных фотоэлектрических преобразователей. А в основе позиционно-чувствительных датчиков применяются QD-фотодиоды (Quadrant Detector, квадрантные/четырёхэлементные фотодиоды), LEP (Lateral Effect Photodiode, фотодиоды с четырёхсторонним расположением электродов), линейные и матричные CCD (ПЗС) и CMOS (КМОП). В первой части доклада выполнен обзор вышеперечисленных фотодетекторов среди продукции отечественных производителей. Проведено сравнение с солнечными датчиками-аналогами. Обоснован выбор QD-фотодиода для солнечного датчика, применяемого в составе плазменного спектрометра.

Во второй части доклада описана математическая модель работы солнечного датчика на основе QD-фотодиода, на основе чего спроектирован его предварительный облик. Рассмотрены принятые конструктивные особенности и проведена оценка погрешности датчика.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СЛЕДЯЩЕГО СТРУННОГО ПОДВЕСА НАНОСПУТНИКА

Мельников Д.О.

Белорусский Государственный Университет

Целью данной работы является разработка системы следящего струнного подвеса, которая позволит улучшить процесс наземного тестирования алгоритмов ориентации наноспутника так как при тестировании системы ориентации спутник подвешивается на струне и вручную раскручивается. Затем он изменяет свою ориентацию в пространстве по заданному тестовому сценарию. При вращении спутника на струне возникает тормозящий момент, вызываемый её закручиванием, и приводящий к резкой остановке спутника. Это ограничивает возможности проведения эксперимента. Для компенсации этого тормозящего момента предполагается крепить нить за поворачивающийся вал (вместо фиксированного анкера) и создать следящую систему, которая независимо определяла бы положение спутника в процессе вращение и вращала вал подвеса вслед за ним.

Для достижения поставленной задачи был спроектирован следующий механизм:

Спутник, находящийся внутри клетки Гельмгольца, подвешивается за струну к поворотному механизму, включающему в себя подшипник, двигатель и профилированный вал, размещённые на платформе. Также на платформе размещается микроконтроллер и система питания. Камера подключена к компьютеру и используется для определения положения спутника. Первые три входят в состав подвеса и размещаются на платформе под потолком. Они должны работать без вмешательства человека, получая команды с ПК. Камера и компьютер размещаются около стенда и составляют систему управления подвесом.

Первоначальной задачей является разработка проекта системы. Дальше планируется разрабатывать и тестировать систему модульно: электронную часть на макетной плате, алгоритм определения ориентации с помощью записанного видео вращения спутника на подвесе. Следующим этапом будет изготовление недостающих компонентов системы, сборка и тестирование.

АКТИВНЫЙ ДЕТЕКТОР НЕЙТРОНОВ И ГАММА-ЛУЧЕЙ АДРОН ДЛЯ АППАРАТА «ЛУНА-РЕСУРС ПА»

Никифоров С.Ю., Митрофанов И.Г., Мокроусов М.И.,
Головин Д.В., Литвак М.Л., Санин А.Б.,
Третьяков В.И.

Институт космических исследований РАН

Проект «Луна-Ресурс»/«Луна-27» включает в себя запуск автоматической межпланетной станции, которая будет проводить дистанционные исследования и выбирать подходящие места для посадки других аппаратов. А также посадочный аппарат, который будет исследовать поверхность Луны в районе полюса, включая бурение на глубину до двух метров.

Целью научной миссии является поиск минералов, летучих веществ (таких как азот, вода, углекислый газ, аммиак, водород, метан и диоксид серы) и водяного льда на Луне в постоянно затененных областях. Также планируется изучить возможность использования этих природных ресурсов Луны.

Научная аппаратура АДРОН-ЛР, входящая в состав посадочного аппарата «Луна-27», будет использоваться для изучения состава реголита. Она имеет два режима работы: пассивный и активный. В пассивном режиме регистрируются нейтроны и гамма-кванты, которые возникают в верхнем слое реголита под действием солнечных космических лучей и галактических космических лучей. В активном режиме используется нейтронный генератор для испускания нейтронов и гамма-квантов, которые после взаимодействия с веществом поверхности затем регистрируются блоком детекторов.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ КОМПАКТНЫЙ АНАЛИЗАТОР ИОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ

Петух А.И.

Институт космических исследований РАН

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

В докладе рассматривается перспективная модель спектрометра заряженных частиц с широким полем зрения, приводятся результаты моделирования параметров электростатической оптики, выполненного в программном комплексе SIMION 8.1, рассматриваются варианты возможного применения в составе комплекса плазменных приборов.

Возможности применения компактных спектрометров включают наблюдения за космической погодой – состоянием магнитосферы и ионосферы, изучение межпланетной плазмы. Подобные измерения позволят уточнить модели взаимодействия магнитосферы с солнечным ветром. Предлагаемая модель анализатора может использоваться в качестве служебной аппаратуры на спутниках связи для мониторинга солнечной активности и предупреждения о потенциальных нарушениях в работе. Также приборы могут использоваться как полезная нагрузка на различных космических аппаратах в составе плазменного комплекса приборов, в том числе и для межпланетных миссий.

Прибор позволяет регистрировать параметры заряженных частиц в диапазоне 10 эВ – 15 кэВ. Энергетическое разрешение составляет 10%, угловое разрешение - $10^\circ \times 20^\circ$. Спектрометр имеет широкое поле зрения - 360° по азимутальному углу и 130° по полярному. Геометрический фактор составил $2,86 \cdot 10^{-4}$ см² ср(эВ/эВ). Прибор имеет компактные размеры: модуль электростатической оптики совместно с детекторным узлом представляют собой цилиндр высотой 100 мм и диаметром 70 мм.

И ионный, и электронный спектрометр имеют одинаковый модуль электростатической оптики. Это позволяет упростить процесс разработки прибора на этапах создания конструкторской документации и изготовления. Единообразие электронно-оптических схем упрощает процесс настройки и калибровки.

Прибор сочетает в себе 2 типа анализа: электростатический по соотношению E/Q и, в случае изменения параметра ионов, времяпролетный для определения M/Q . Времяпролетная схема основана на использовании электростатического затвора. При измерении параметров электронов электростатический затвор может быть использован как аттенюатор для регулирования чувствительности прибора и энергетического разрешения в зависимости от потока регистрируемых частиц.

Преимуществами анализатора являются: широкое поле зрения, высокое энергетическое, массовое и угловое разрешение, широкий диапазон регистрируемых энергий, компактные размеры. Предложенная схема электростатической оптики позволяет ее масштабировать в зависимости от размера используемого детектора. Предлагаемая модель анализатора может устанавливаться на научных спутниках, служебных космических аппаратах и наноспутниках.

РАЗРАБОТКА ГАЗОАНАЛИЗАТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ПРИЗЕМНЫХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ

Правук Б.Р.^{1,2}, Мещеринов В.В.^{1,2}, Казаков В.А.^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

На сегодняшний день остро стоит проблема контроля антропогенного и естественного баланса климатически активных веществ, из которых наибольшее внимание привлекают такие парниковые газы, как CO_2 и CH_4 . В связи с этим стоит вопрос о разработке устройств для прецизионного измерения концентрации и потоков климатически активных газов. Первенство в этой сфере занимает продукция компании LI-COR (США), в частности, приборы LI-7700, LI-7500, LI-7200. Мы представляем газоанализатор для измерения потоков парниковых газов в приземных слоях атмосферы, превосходящий подобные газоанализаторы для измерений потоков климатически активных веществ по ряду параметров.

Одним из отличий разрабатываемого газоанализатора является использование в качестве рабочего спектрального диапазона области вблизи линии поглощения метана на длине волны 3,24 мкм (3086 см⁻¹), принадлежащей фундаментальной моде колебаний связи С-Н. Интенсивность этой линии поглощения примерно в 40 раз превосходит интенсивность линии обертона этой моды вблизи 1,65 мкм (6057 см⁻¹). Это позволяет уменьшить оптический путь генерируемого лазерного излучения, тем самым облегчая юстировку прибора и повышая его устойчивость к изменениям внешних условий. Также в отличие от приборов LI-COR, разрабатываемый газоанализатор может измерять одновременно три газовых составляющих атмосферного воздуха, являющихся наиболее эффективными парниковыми газами (H_2O , CH_4 , CO_2).

В приборе используется четырехпроводная кювета полукрытого типа, основанная на схеме Уайта. Длина оптического пути кюветы составляет 1,3 м, что для атмосферного воздуха в приземном слое будет соответствовать поглощению метана на уровне около 2%, и поглощению углекислого газа на уровне 20%.

В основе работы разрабатываемого газоанализатора лежит методика диодно-лазерной спектроскопии с модуляцией длины волны (wavelength modulation spectroscopy, WMS). Длина волны излучения лазера модулируется током инжекции на частоте $f = 13.3$ кГц при стабилизации температуры для сканирования участка спектрального диапазона вблизи выбранной линии поглощения.

Демодуляция детектируемого сигнала, прошедшего через поглощающую среду, осуществляется путем вычисления второй гармоники сигнала на частоте $2f$, которая пропорциональна поглощению и имеет форму второй производной сигнала. Данный метод позволяет избавиться от проблемы определения базовой линии, а также позволяет подавить низкочастотные шумы, к примеру, фликкер-шум.

Определение концентрации газов осуществляется, путем моделирования второй производной сигнала с помощью спектроскопической базы HITRAN и дальнейшего сравнения модели со второй производной измеренного сигнала при помощи регрессионного анализа. В результате измерений среднее значение CH_4 в воздухе составило 2.3 ppm, CO_2 – 420 ppm.

ИЗУЧЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВОГО МНОГООБРАЗИЯ ОРБИТЫ КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «СПЕКТР-РЕНТГЕН-ГАММА» С ЦЕЛЬЮ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Пупков М.В.^{1,2}, Эйсмонт Н.А.¹, Старинова О.Л.²,
Федяев К.С.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Самарский университет им. Королева*

С ограниченными орбитами вблизи точек либрации связаны два множества траекторий: устойчивые и неустойчивые многообразия. Эти семейства представляют большой интерес для планирования и реализации космических миссий. Например, вывод космического аппарата на рабочую орбиту в окрестности той или иной точки либрации происходит по траектории из множества устойчивого многообразия. В свою очередь, по траектории из множества неустойчивого многообразия аппарат может вернуться к Земле или же вовсе покинуть околоземное пространство.

В работе проведено исследование неустойчивого многообразия, связанного с ограниченной орбитой в окрестности солнечно-земной точки либрации L2 космической обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма» (СРГ). Предложена методика численного построения так называемых «трубок» неустойчивого многообразия. В качестве целевой задачи перевода космического аппарата на одну из траекторий указанного семейства выбрано сближение с потенциально опасным астероидом Апофис, который пройдет 13 апреля 2029 года на расстоянии около 30000 километров от поверхности Земли. Показано, что при малых затратах характеристической скорости (несколько см/с) обсерватория СРГ, двигаясь по траектории из семейства неустойчивого многообразия, может достичь исследуемого небесного тела. Проведено сравнение такого сценария с прямым перелетом к Апофису, при котором космический аппарат не покидает окрестность точки либрации L2 системы Солнце-Земля.

Также в работе показано, что предлагаемый подход к построению перелетных траекторий применим не только для случая достижения астероида Апофис космическим аппаратом СРГ. В частности, рассмотрены примеры перенаправления обсерватории СРГ к астероиду 1990 MU и европейского космического телескопа Gaia к астероиду 1997 NC1. Все рассчитанные сценарии не требуют больших затрат топлива, поэтому могут быть применены на завершающих этапах миссий.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ И СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ ПРИБОРА КОДИЗ, УСТАНОВЛЕННОГО НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ «МОНИТОР-1»

Сазонова А.В.^{1,2}, Антонюк Г.И.^{1,2}, Бенгин В.В.^{2,3},
Золотарёв И.А.², Нечаев О.Ю.², Оседло В.И.²

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

² *НИИЯФ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

³ *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем Российской академии наук*

В августе 2022 года на околоземную орбиту высотой около 500 км был запущен малый космический аппарат типа CubeSat размером 3U, получивший наименование «Монитор-1». Полезной нагрузкой этого аппарата стал прибор КОДИЗ. В состав его детекторной системы вошли 2 полупроводниковых и 2 нейтронных детектора, а также черенковский детектор и компактный сцинтилляционный детектор. В качестве сцинтилляционного детектора использовался кристалл CsI, просматриваемый двумя полупроводниковыми фотодиодами. Размер детекторной сборки 16x16x10мм. Целью установки сцинтилляционного узла была проверка возможностей данного детектора для регистрации дозы космического излучения.

В докладе были проанализированы данные, полученные в ходе полета спутника. Для этого были дешифрованы и систематизированы данные с прибора КОДИЗ, полученные в ходе сеансов связи со спутником «МОНИТОР-1». Выбраны интервалы времени одновременной регистрации сцинтилляционного и полупроводниковых детекторов. Данные периоды измерений содержат информацию о прохождении зон повышенной радиации в области Южно-Атлантической аномалии, а также полярных шапок во время солнечного протонного события в феврале 2024 года. При анализе использовались также данные наземных лабораторных калибровок на источниках ионизирующего излучения для полупроводниковых детекторов и сцинтилляционного узла. Сравнительный анализ двух детекторных узлов показал более высокую скорость счета сцинтилляционного детектора, примененного в приборе КОДИЗ, чем у использованных там же полупроводниковых детекторов. Показана эффективность работы компактного сцинтилляционного детектора для регистрации космического излучения.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЕЙ ЗАДАЧ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ТВЁРДОГО ТЕЛА

Самыловский И.А., Бирюков Д.А., Прошкин М.А.,
Сабаев Д.Д.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Целью настоящей работы является создание аппаратно-программного комплекса для отработки оптимальных в предписанном смысле алгоритмов управления динамикой вращательного движения твёрдого тела, оснащенного набором активных исполнительных органов и измерительных средств.

В "минимальном" варианте мы рассматриваем управляемую систему

$$\begin{cases} J_b \dot{\omega}_b = (J_b \omega_b + J_w \omega_w) \times \omega_b - J_w u, \\ \dot{\omega}_w = u, \quad u(t) \in U, \quad U - \text{компакт,} \end{cases}$$

где $J_{b,w}$ – матрицы моментов инерции тела (спутника) и блока маховиков, $\omega_{b,w}$ – векторы угловых скоростей спутника и блока маховиков, соответственно, а $u(t)$ – управляющее угловое ускорение маховиков.

Для простоты предполагается, что маховики ориентированы параллельно главным осям инерции спутника.

Целью управления является стабилизация спутника:

$$\omega_b(t_0) = \omega_b^0, \quad \omega_b(t_1) = 0,$$

таким образом, чтобы

$$J[u(\cdot)] := \int_{t_0}^{t_1} (\alpha \cdot 1 + (1 - \alpha) \cdot \|u(t)\|^2) dt \rightarrow \min_{u \in U}, \quad \alpha \in [0, 1].$$

Отрезок времени $[t_0, t_1]$ полагаем нефиксированным.

Особенностью нашей системы является то, что данные для вычисления значения функционала вдоль траектории получаются со стенда, включающего в себя в общем случае следующие составные части:

- Трёхстепенной механический подвес для крепления макета спутника и вращения его по трём осям,
- Спутник, содержащий корпус, акселерометр, трёхосевой гироскоп, аккумулятор, систему электромоторов, "колес" маховиков, контроллеров системы ориентации и стабилизации, а также бортовой компьютер для запуска управляющей программы,
- управляющая ЭВМ с запущенным ПО отображения информации со стенда.

ПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ MIDE

Самыловский И.А., Комаровский А.Ю.,
Крымшамхалов А.Х., Филиппов А.А.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

“Технологической” целью настоящей работы является дополнение цифровой платформы баллистического центра ФКИ функциональностью по построению “терминальных” и “суб-оптимальных” (в смысле как минимум свёртки приоритетов объектов съёмки и количества отснятых целей) планов съёмки наземных и космических объектов группировкой околоземных спутников мониторинга. Второй целью является проектный анализ вариантов группировок малых космических аппаратов для мониторинга околоземного космического пространства. Подобные задачи представляют интерес и с точки зрения доработки и масштабирования систем слежения за опасными природными и техногенными объектами, и с точки зрения мониторинга перспективных многоярусных группировок мультиназначения (ДЗЗ, низкоорбитальная связь и широкополосный доступ в Интернет). Мы ставим целью создание и мультиагентной платформы для быстрого построения планов съёмки, связи и ретрансляции, и – шире – оптимизационного пакета с возможностью как перестраивать планы при корректировке критериев качества, так и строить экстремали задач, связанных с взаимодействием небольшого количества объектов. В рамках настоящей работы приводится несколько вычислительных экспериментов, связанных с мониторингом вариантов построения группировок ДЗЗ и связи. При этом демонстрируются возможности по варьированию параметров группировок и отдельных космических аппаратов и наземных станций.

ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА, ОСНАЩЕННОГО РАДИОУСТРОЙСТВАМИ

Самыловский И.А., Ионкин В.К., Филиппов А.А.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Настоящая работа посвящена вопросам моделирования диаграмм направленности радиотехнических устройств наземного или космического базирования. Рассматривается “трёхуровневая” структура объекта моделирования, подразумевающая как минимум абсолютную систему координат (геоцентрическую), динамический объект, движущийся относительно этой системы координат, и структурный блок этого объекта, конкретно антенну с параметрами – типом, размерами и ограничениями на диапазон углов полярной системы координат.

Приводятся примеры следующих сценариев работы с системой:

1) Моделирование диаграмм направленности некоторых базовых типов антенн в соответствии со справочными материалами ПО Ansys STK.

2) Моделирование характеристик радиолинии между двумя устройствами с диаграммами направленности для обеспечения работы с тандемом космических аппаратов и парой “космический аппарат-наземный пункт” в ходе сложного движения.

Таким образом, разработан пригодный для верификации программный комплекс, позволяющий, с одной стороны, тестировать модели различных типов антенных устройств и создавать диаграммы направленности для вычислительных экспериментов, а во-вторых, работать в “связке” с комплексами планирования целевого применения группировок космических средств.

РАЗВИТИЕ КОМПЛЕКСНОЙ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЫ

Соколов А.Д.

НИУ Московский физико-технический институт

Институт космических исследований РАН

В полярной ионосфере Земли существуют механизмы образования неоднородностей электронной концентрации в результате взаимодействия ионосферы, магнитосферы, плазмосферы, и высыпающихся частиц солнечного ветра. В данной работе представлена перспективная экспериментальная комплексная методика, диагностики направленная на контроль и исследования процессов, приводящих к градиентам. Сама методика состоит из нескольких основных блоков: экспериментального, в который входят приборы, построенные на основе различных методах измерений; блока ПО для расчетов различных географических, геомагнитных, геофизических параметров вдоль орбит КА и в конкретных областях дистанционных наблюдений; блока обработки данных, в которой данные, получаемые в экспериментальной части, обрабатываются и преобразуются в характеристики полярной ионосферы, и блока модельного сопровождения характеристик в конкретных секторах MLT полярной ионосферы и сравнения измеренных характеристик, по результатам которого строится краткосрочный прогноз условий в пересекаемых КА секторах ионосферы, приводящих или не приводящих к сцинтилляциям трансполярных сигналов орбитальных навигационных систем.

Экспериментальная часть методики строится на основе измерений с помощью комплекса приборов, которые измеряют разные параметры полярной ионосферы, такие как интенсивности эмиссий, параметры сцинтилляций сигналов, плазменные параметры в конкретных точках и т.д. В блоке обработки данных различные измеряемые параметры преобразуются в характеристики полярной ионосферы. Например, через интенсивности конкретных эмиссий можно рассчитать энергетические характеристики потоков высыпающихся частиц [1-3], также, как следствие, другие электродинамические параметры, такие как проводимости Холла и Педерсона, интегрированные по высоте [4], которые можно использовать для расчета неоднородностей Ne в различных секторах. Задача блока моделирования заключается в предсказании условий локальных характеристик полярной ионосферы, приводящих к генерации сцинтилляций трансполярных сигналов. На данный момент это достигается с помощью зарубежных моделей GEMINI [5] и SIGMA [6-8].

Кроме того, в работе представлены: перспективы развития блока методики на основе специального ПО, нацеленного на расчет текущий параметров вдоль орбит разных КА и предсказания ситуаций для одновременных наблюдений процессов на разных высотах м.с.л. с помощью КА на разных орбитах, разработки новых моделей авроральных имаджеров для съёмки авроральных эмиссий с орбит КА, а также развитие других составляющих данной методики.

Литература:

[1] Rees M. H., Luckey D. Auroral electron energy derived from ratio of spectroscopic emissions 1 Model computations // J. Geophys. Res. 1974 V. 34 P.5181—5186. DOI: 10.1029/JA079i034p05181.

[2] Germany G. A. [et al.] Auroral Observations from the POLAR Ultraviolet Imager (UVI) // Geospace Mass and Energy Flow. American Geophysical Union (AGU). 1998 P. 149—160. DOI:10.1029/GM104p0149.

[3] Strickland D. J. [et al.] Dependence of auroral FUV emissions on the incident electron spectrum and neutral atmosphere // J. Geophys. Res.: Space Phys. 1983 V.88. P. 8051—8062. DOI: 10.1029/JA088iA10p08051.

[4] Robinson R. M. [et al.] On calculating ionospheric conductances from the ux and energy of precipitating electrons // J. Geophys. Res.: Space Phys. 1987 V.92. P.2565—2569. DOI:10.1029/JA092iA03p02565.

[5] Zettergren M. D. [et al.] GEMINI: Geospace Environment Model of Ion-Neutral Interactions. 2019 DOI:10.5281/zenodo.3528914.

[6] K. B. Deshpande [et al.] Satellite-beacon Ionospheric-scintillation Global Model of the upper Atmosphere (SIGMA) I: High latitude sensitivity study of the model parameters // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2014 V.119(5). P.4026—4043 DOI: 10.1002/2013JA019699.

[7] K. B. Deshpande [et al.] Satellite-beacon Ionospheric-scintillation Global Model of the upper Atmosphere (SIGMA) II: Inverse modeling with high-latitude observations to deduce irregularity physics // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2016 V.121(9). P.9188—9203. DOI: 10.1002/2016JA022943.

[8] K. B. Deshpande [et al.] Satellite-beacon Ionospheric-scintillation Global Model of the upper Atmosphere (SIGMA) III: Scintillation simulation using a physics-based plasma model // Geophys. Res. Lett. 2019 V.46(9). P.4564—4572. DOI: 10.1029/2019GL082576.

РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНОГО СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ CANSAT

Юронин М.В., Щербаков М.С.

ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

В настоящее время актуальным является сбор достоверной информации, которая позволит анализировать процессы, разворачивающиеся во внешних и внутренних слоях солнечной короны, таких, как нагрев солнечной короны, свойства корональных петель, солнечное динамо и другие. Важно получать и обрабатывать новые данные, которые помогут прогнозировать различные явления на Солнце.

Одним из современных методов изучения Солнца является использование запусков стратосферных аппаратов типа Cansat (CS). Образовательные запуски стратосферных аппаратов достаточно активно проводятся с конца 1990-х годов. По действующим международным стандартам CS – это малые стратосферные аппараты, имеющие массу до 1500 г и размеры, которые вписываются в цилиндр диаметра 84 мм и высотой 220 мм. Наиболее интенсивно CS используются в отработке новых инструментов и отработки инженерных решений, которые затем используются в космических аппаратах и солнечных космических станциях.

В настоящем исследовании планируется запуск бесцелевого спектрометра при помощи технологии CS. Данный аппарат предназначен для изучения солнечной активности. В настоящее время реализуется разработка спектрометра, который способен осуществить наведение на Солнце с целью получить изображение солнечного спектра.

Для установки спектрометров на стратосферные аппараты необходимы специальные технические решения, учитывающие условия работы на высоте и требования к точности измерений. Спектрометр должен быть калиброван и настроен перед запуском, чтобы обеспечить высокую точность сбора данных о солнечном спектре. Конструируемый бесцелевой спектрометр будет проходить специальную калибровку на специальных тестировочных стендах, а именно: вибростенд, имитатор Солнца и монохроматоры.

Обоснуем основные критерии выбора параметров сборных элементов бесцелевого спектрометра. Наиболее важным представляется выбор камеры. Для ее выбора были учтены следующие параметры установки, а именно: разрешение, чувствительность, динамический диапазон. Корпус спектрометра имеет цилиндрическую форму и имеет длину в 65 мм и диаметр 20 мм. Данные габариты обусловлены тем, что спектрометр имеет систему по изменению угла наклона (чтобы можно было оперативно изменить угол наблюдения корпуса спектрометра), а поэтому длина спектрометра отличается от максимально возможной длины в 84 мм.

Подводя итог, хочется отметить, что настоящая работа направлена прежде всего на проработку дальнейших действий по разработке аналогов данного прибора.

Так, первым этапом реализации разработки выступит выведение вышеописанного спектрометра при помощи технологии CS на ракете на высоту 2км. Вторым этапом работы планируется создание более крупного спектрометра все с той же технологией бесцелевой конструкции спектрометра для выведения на полноценном стратосферном зонде (аэростате) на высоту 30 км, в котором планируется получить детальную фотографию поверхности Солнца и его спектра.

УПРАВЛЕНИЕ ЛУНЫМ МАНИПУЛЯТОРНЫМ КОМПЛЕКСОМ ДЛЯ МИССИИ ЛУНА-25

Яковлев В.А., Литвак М.Л., Докучаев И.В.

Институт космических исследований РАН

Лунный манипуляторный комплекс (ЛМК) разрабатывался для посадочного аппарата Луна-25. Комплекс предназначен для забора пробы лунного реголита и транспортировки его в аналитический прибор ЛАЗМА, а также для наведения прибора ЛИС-ТВ-РПМ на выбранные участки поверхности Луны.

В состав ЛМК входят четыре механических привода, грунтозаборное устройство, а также процессорный блок управления.

Для управления манипуляторным комплексом было разработано порядка 50 команд, включающих в себя различный набор параметров. Из этих команд с указанием времени их выполнения формируется циклограмма рабочего задания, которая через системы КА передается в ЛМК для исполнения.

ЛМК имеет два режима управления: автоматический и ручной. В автоматическом режиме манипулятор может безопасно перемещаться над поверхностью грунта в пределах своей рабочей зоны, осуществлять копание и забор грунта, доставлять грунт для анализа в прибор ЛАЗМА, а также выполнять ряд других функций. Например, копание грунта выполняется одной командой с набором параметров, задающих место и глубину копания, профиль выкапываемых траншей, характер движения в зависимости от твердости грунта и др.

Управление в ручном режиме подразумевает непосредственное участие оператора в движении манипулятора путем включения и выключения определённых двигателей. В данном режиме все действия ЛМК должны строго контролироваться оператором.

Для безопасной работы ЛМК вблизи корпуса КА или поверхности грунта предусмотрены 3 режима, определяющих поведение манипулятора при обнаружении препятствия. Контроль столкновения с препятствием осуществляется по «датчику потери скорости» (ДПС), функционирующему в автоматическом, "мягком" или "жёстком" режимах. Отличаются режимы работы величиной прикладываемого момента и временем воздействия на преодолеваемое препятствие. Также предусмотрен датчик защиты ЛМК по току, который срабатывает при превышении установленного значения тока на моторах при перегрузке.

Созданное для ЛМК ПО позволяет управлять комплексом, эмулировать выполнение команд и циклограмм, анализировать полученную телеметрию и визуализировать движение ЛМК в двух плоскостях. При отработке первой лунации в ИКИ оператором ЛМК было проработано множество циклограмм управления комплексом. Каждая циклограмма, состоящая из определённой последовательности команд, способствовала выполнению поставленной задачи. Качество выполненной задачи напрямую зависело от корректно составленной оператором циклограммы.

КОСМОС В СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ



КИНО В КОСМОСЕ

Власова В.С.

ГБПОУ «Воробьевы горы»

Исследование на тему «Кино в космосе» актуально с точки зрения изучения влияния кинематографа на общественное восприятие научных концепций. Ошибки в фильмах о космосе могут возникать из-за недостаточного внимания к научным и астрономическим деталям. Кинематограф – это неотъемлемая часть жизни, формирующая у человека представление об окружающем мире. В связи с этим повышаются требования к точности подаваемой информации и возможном предсказании развития астрономии и космонавтики. В связи с этим была поставлена цель исследовать на примере различных фильмов изображения физических и астрофизических явлений, выявить ошибки и предложить способы их исправления.

При выполнении работы были рассмотрены и проанализированы на предмет достоверности различные фильмы. Изучены различные кинематографические приемы, используемые для создания иллюзии реалистичности астрономических и физических явлений в фильмах. Проанализированы точность отображений этих явлений в различных фильмах, выявлены ошибки и несоответствия. Исследовано, как развитие технологий и научных знаний влияет на уровень реалистичности отображаемых в кино астрономических явлений. Предложены варианты исправления увиденных ошибок.

В заключении следует отметить, что при просмотре огромного количества кинематографического материала были выявлены различные ошибки, связанные с физическими законами, астрономическими данными и научной точностью. Для устранения этих ошибок предлагается создавать образовательные материалы для кинематографистов и базы данных с актуальной астрономической информацией.

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА «ОСНОВЫ ПАТЕНТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ» ДЛЯ МОТИВАЦИИ ШКОЛЬНИКОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕМАТИКИ

Екимовская А.А.

ФГБОУ ВО НИУ "Московский авиационный институт"

Актуальность исследования обосновывается необходимостью разработки законодательной базы, которая не только отражает современное состояние проблемы в средней школе на основе исторического анализа, а, напротив, опережает, прогнозирует события. В настоящее время во многих законодательных документах наблюдается ниша в области патентной работы, хотя это направление имеет многовековую историю развития как в России, так и в мировой практике. Сейчас ничто не мешает не только обеспечить такое соответствие, но ещё и априорно предусмотреть то, что понадобится в перспективе. Был выбран конкретный объект исследования – школьный научно-технический кружок, в котором автор проработала пять лет и постепенно пришла к осознанию важности результатов интеллектуальной деятельности (РИД). В школьном кружке основным направлением деятельности является космическая тематика, поэтому первые патенты и заявки школьников связаны с этой областью. Например, первый патент на полезную модель ученица 9-го класса получила на учебную установку, позволяющую изучать параметры орбит космических аппаратов. Две заявки на патенты были поданы на бесконтактный способ передачи электроэнергии при работе космонавта в открытом пространстве вблизи орбитальной станции. Предметом изучения является патентная работа и начало патентной деятельности школьников. Специалисты в области интеллектуальной собственности отмечают: «Чем больше хороших специалистов, тем сильнее рынок интеллектуальной собственности». Защита РИД начинает приносить студенту материальные блага со стороны государства даже во время обучения в ВУЗе, то есть сразу после окончания средней школы. В таком раннем начале экономической и правовой деятельности студента, а ещё лучше, школьника, заключается практическая значимость работы. Новизна работы состоит в предложении начальной программы обучения школьников основам патентной деятельности.

В процессе выполнения работы применён практический метод, основанный на реальном решении актуальных задач по защите РИД.

Важный вывод для начинающих изобретателей был субъективный, но подтверждённым практикой. Наверное, есть смысл рекомендовать сначала опробовать силы в патентной защите более простых объектов интеллектуальной собственности – полезных моделей, и только потом переходить к изобретениям.

Можно утверждать, что приобретённый личный опыт автора, пусть даже на отрицательном результате, сыграл более важную роль для последующей деятельности, чем получение патента на изобретение. Этот опыт связан с педагогическим направлением, в которое теперь обязательным решением была добавлена патентная работа. Основы педагогики существенны для правильного общения с учениками, поэтому были изучены основные положения теории Льва Семёновича Выготского о зонах актуального и ближайшего развития ребёнка и о потенциальной психологической зоне. Опыт показал, что ученик, впервые подающий заявку на патент, панически боится комплекта документов, которые необходимо оформить. Для устранения страха надо предложить один раз пройти процедуру подачи заявки на патент на полезную модель. Желательно и проще оформить ошибку предотвратить, чем потом её исправлять, поэтому труд школьника надо

постоянно контролировать.

Результат работы, сразу надо сказать, долгий, появился через полтора-два года после формулировки новой для школьного кружка задачи. Этот результат виден сразу в двух направлениях. Во-первых, методическая работа доказала ученикам необходимость защиты РИД и научила их первично работать с документацией. Во-вторых, началось безбоязненное общение учеников с представителями научного сообщества.

В результате внедрения первого, пробного учебного курса по патентной деятельности были получены следующие основные результаты.

1. Основным препятствием к правовой защите РИД школьниками и студентами является, прежде всего, психологический фактор и незнание патентного законодательства.

2. Психологический барьер начинающих изобретателей, как студентов, так и школьников, вполне может быть преодолен, если руководствоваться педагогическими принципами Л.С.Выготского о процессе обучения и развития как расширении зон актуального и ближайшего развития, применительно к области интеллектуальной собственности.

3. Основное внимание было направлено на простое и доступное изложение материала с целью реализации начальных принципов заинтересованности учеников – от живого созерцания к абстрактному мышлению, от простого к сложному.

4. Отдельный раздел курса - это патентное делопроизводство. Личный пример помог преодолеть трудности.

5. На конкретных примерах доказано, что не следует бояться ошибок в процессе патентной защиты РИД. Ошибаться могут как заявители, так и эксперты, например, запрашивая разъяснения описания технического решения или оформленной патентной документации.

6. В процессе реализации учебного курса было выполнено распределение обязанностей. Задачи ученика – думать, пробовать, изобретать, испытывать. Задачи руководителя – проверять, помогать, исправлять, оформлять, постоянно беседовать с учеником, составлять формулу изобретения или полезной модели.

7. Результат работы проявился очень быстро, хотя не сразу. Через полтора-два года произошёл качественный пересмотр отношения учеников к защите РИД, который выразился в количественных показателях поданных заявок и полученных патентов. Доказательством интереса стал рост в геометрической прогрессии числа учеников, начавших общение с Роспатент, резкое увеличение числа заявок.

ПЕРВЫЕ НЕУДАЧИ В ПАТЕНТОВАНИИ КАК СТИМУЛ К РАБОТЕ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ ШКОЛЬНОМ КРУЖКЕ ПО КОСМИЧЕСКОЙ ТЕМАТИКЕ

Кирнева К.Д.

МБОУ СОШ №12, город Королёв

Опытный изобретатель помнит ошибки в патентовании. Но одновременно он помнит пути их преодоления. В школьном научно-техническом кружке, работающем в области космической тематики, при оформлении заявки на полезную модель обычно нет ошибок по технической реализуемости, потому что заявляется то, что уже воплощено в действующую установку. Чаще всего у Государственных экспертов по интеллектуальной собственности есть нарекания к новизне. В условиях школы нет возможности провести детальное патентное исследование на новизну технического решения, но предварительный поиск аналогов выполнить вполне реально. Значит, надо детальнее искать информацию в общедоступных источниках. Изобретательский уровень – это постоянное развитие личности в технике, праве и интеллектуальной собственности. Но дойти до заявки на патент на изобретение можно только постепенно, решая практические задачи. Исправление ошибок при подаче заявок на патенты позволяет грамотно оценивать полученные результаты в области интеллектуальной собственности, защищать их приоритетом, а потом свободно представлять для всеобщего научного обсуждения.

Структура первой исследовательской работы в области патентной деятельности соответствует школьной работе над ошибками, но только в совершенно новом предмете, о существовании которого многие ученики даже не подозревают. В учебном курсе средней общеобразовательной школы нет не то что предмета патентования, но даже отдельного параграфа в этой области в рамках других предметов. Наверное, это связано с тем, что только отдельные школьники интересуются научно-технической областью, но ещё меньшая часть из них сталкивается с патентами. Об интеллектуальной собственности на школьных уроках тоже ничего не говорят. Когда школьник входит в научное сообщество, сначала не понятны даже многие термины, не говоря о вопросах экспертов. В школьном кружке «Юный физик – умелые руки» получилось так, что вопросы патентной деятельности начали обсуждаться только после прихода инициатора – выпускницы кружка, теперь уже студентки, продолжающей работать преподавателем и наставником учеников.

Первые вывод понятен сразу. Нельзя раскрывать техническое решение до получения охранного документа, или хотя бы до регистрации даты приоритета, то есть подачи заявки.

Ещё одна неудача связана с абсолютно такой же ошибкой, потому что в школьном кружке о патентовании речь зашла слишком поздно для второго устройства. Совершенно новая машина «Рёлоход» не запатентована, потому что все ученики кружка торопились на очередную конференцию. Вывод очень важный. Чтобы не получить отрицательного решения патентной экспертизы, надо внимательно следовать плану не только исследовательской работы, но защите результатов интеллектуальной деятельности (РИД), о которых сейчас начинают говорить очень часто. Собственная ошибка может перечеркнуть возможность получения охранного документа.

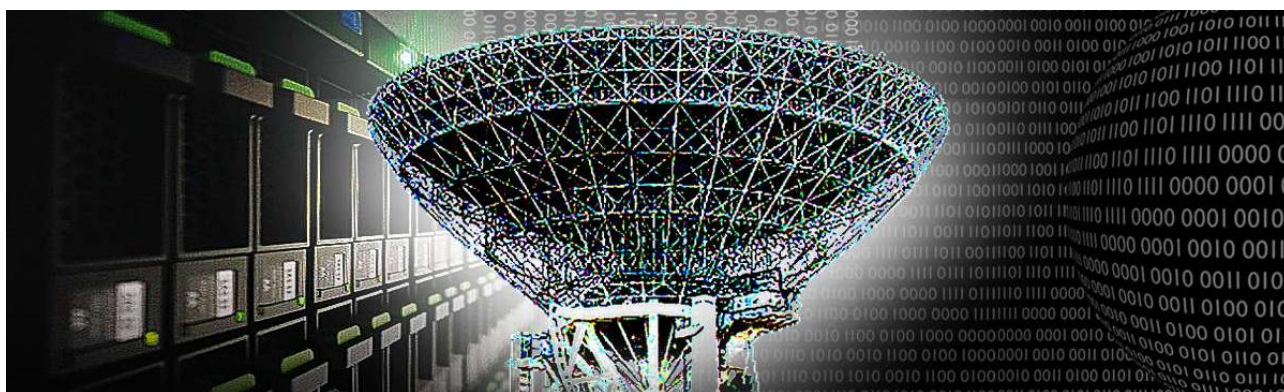
Ещё одна ошибка оказалась очень полезной для обучения патентному делопроизводству. С позиции охраны интеллектуальной собственности надо работать, соблюдая принципы римского права, то есть не отступать ни на одну букву от патентного законодательства. Казалось бы, что может быть проще, чем заполнить клетки заявки на патент 86, 71, 72.

На обычном языке – это адрес для переписки, заявитель, автор. К чему привела ошибка всего в одной цифре? В адресе для переписки в почтовом индексе была допущена одна ошибка. Казалось бы, не особо критично. Но теряется, как минимум, неделя на почтовые пересылки. С точки зрения патентного права – это очень важно, потому что срок на ответ три месяца, начался с исходящей даты корреспонденции ФИПС.

Выводы.

1. Патентная деятельность быстро переводит школьника из детства к взрослой жизни.
2. Патентную работу надо воспринимать как римское право – не отступать даже от буквы закона.
3. Ни в коем случае не бояться Государственных экспертов по интеллектуальной собственности – всегда помогут.
4. Планировать, экономить время, проверять заявку.
5. Учиться на чужих ошибках намного приятнее, чем на своих.
6. Главное! Сначала патентовать, потом публиковать и выступать.

ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ



CCW SOLUTION OF STRONG SHOCK WAVE PROPAGATION IN DUSTY REAL ATMOSPHERE WITH ROTATION EFFECT

Gangwar P.K.

Department of Physics, Bareilly College, Bareilly-243001 India

In the present study, the CCW (Chester-Chisnell-Whitham) solution has been obtained for the adiabatic propagation of strong shock front in dusty real gas atmosphere with the effect of solid body rotation of the medium. Neglecting the effect of overtaking disturbances on the freely propagating shock, the effect of the presence of dust particle on the post shock flow variables has been estimated for the spherical and cylindrical symmetries. The dusty medium is assumed to be the mixture of small spherical solid particles of inert dust particles of micro size with the real gas. The particles are considered as pseudo-fluid and uniformly distributed in the medium. Initially taking the power varying density distribution the analytical expressions for the post shock velocity, shock strength, the pressure and non-dimensional flow velocity have been derived for freely propagation. Variation of all post flow variables as shock converges in the medium have been computed and discussed through figures. The effect of realness of the gas and density of the solid particles has been calculated. The results accomplished for the case of real gas has been compared with those for pure ideal gaseous atmosphere.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КВАЗИ-ГАЛО ОРБИТ ДЛЯ ПРОЕКТА «МИЛЛИМЕТРОН»

Будникова П.А.

*Астрокосмический Центр Физического Института им. П.Н. Лебедева РАН
Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ*

«Миллиметрон» - космическая обсерватория миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн с диаметром телескопа 10 м. Особенностью телескопа является его работа в двух режимах: одиночного телескопа и наземно-космического интерферометра. Аппарат находится в активной стадии разработки и запустится в 2030 году. Целью проекта являются изучение Вселенной: протопланетных дисков, ядер галактик, черных дыр, искажений реликтового излучения, космологических эффектов, а также решение ряда других задач, представляющих научный интерес. «Миллиметрон» должен быть выведен на квазипериодическую орбиту в окрестности точки либрации L2 системы Солнце-Земля.

Квазипериодические орбиты являются неустойчивыми. Для их поддержания в начальной конфигурации в окрестности коллинеарных точек либрации требуется периодическое проведение коррекций траектории космического аппарата. Существует две основные стратегии поддержания квазипериодических орбит с помощью корректирующих манёвров. Первая – удержание траектории в окрестности начального решения. Вторая стратегия – удержание космического аппарата на некотором семействе траекторий ограниченной задачи трёх тел, содержащем периодические и квазипериодические орбиты. Вторая стратегия позволяет обеспечить поддержание орбиты существенно меньшей суммой корректирующих импульсов. Именно второй способ мы и хотим изучить.

Основным критерием для выбора орбиты являются продолжительные и успешные наблюдения двух черных дыр M87 и SGR A*. Исследование посвящено возможности их многократного наблюдения за время миссии. Изучаются методы построения квази-гало орбит в ограниченной задаче трех тел, проводится анализ перспектив их использования для миссии "Миллиметрон" в целях выполнения научной программы и минимизации топливных затрат. В связи с тем, что для космических миссий критична проблема общего количества корректирующих импульсов в связи с ограниченными запасами топлива, то наша основная задача сводится к расчету такой орбиты, на поддержание которой затрачивается минимальная сумма корректирующих импульсов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АКСИОНОГЕНЕЗА В РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

Волкова В.В., Кулагина М.А., Филатов В.В.

Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана

Аксионы – гипотетические нейтральные псевдоскалярные частицы, отвечающие за сохранение комбинированной чётности при сильных ядерных взаимодействиях. Теория предсказывает возможность формирования (и распада) аксионов по двухфотонному каналу ($\gamma\gamma \rightarrow \alpha$), что делает эти частицы наилучшими кандидатами на роль квантов тёмной материи (небарионной составляющей скрытой массы в космологии). Настоящая работа посвящена исследованию возможных сценариев возникновения аксионов во Вселенной в различные космологические эпохи.

Имеющиеся на сегодняшний день наблюдательные данные по распределению тёмного вещества в окружающем пространстве не выявляют признаков равномерного фона, но наоборот демонстрируют преобладание тёмной материи в виде сгустков. Это означает, что сегодняшние тёмные частицы в основной массе возникли после фазы инфляционного расширения (позже 10^{-32} сек с момента Большого взрыва).

По завершении Инфляции Вселенная вступила в стадию радиационного доминирования, где начиная с Электрослабой эпохи открылись двухфотонные каналы. Следовательно, появление аксионов в необходимых количествах могло произойти не раньше $10^{-32} - 10^{-12}$ сек от Начала времён. На основе данных Большого адронного коллайдера (а также по косвенным свидетельствам о возможном существовании лёгкой нейтральной частицы, полученным Суперкамиокандэ), аксионы должны иметь очень малую массу, что должно приводить к доминированию процесса $\gamma\gamma \rightarrow \alpha$ даже над самым вероятным из регистрируемых сегодня на БАК $\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-$, что обеспечило преобладание генерации тёмной материи над обычной. Данный вывод согласуется с результатами WMAP по процентному соотношению тёмной и барионной материи и может быть использован для оценки массы аксионов на основе космологических данных, позволив проверить гипотезу о тождественности аксионов и стерильных нейтрино.

На последовавшей за радиационной Стадией доминирования вещества плотность электромагнитного поля, заполнявшего Вселенную, постепенно снижалась и двухфотонные каналы закрылись из-за уменьшения вероятности для двух идентичных фотонов одновременно оказаться в одной точке пространства. Поэтому начиная с Протонной эпохи и вплоть до настоящего времени аксиогенез должен быть подавлен.

Таким образом, аксионная тёмная материя в основном должна была сформироваться в первые минуты Большого взрыва. Данное обстоятельство может быть использовано для изучения пространственной структуры ранней Вселенной методом регистрации современного распределения тёмной материи в окружающем космосе (с учётом поправки на эволюцию галактик).

БОЗЕ–ЭЙНШТЕЙНОВСКИЙ КОНДЕНСАТ СВЕТА — ОКНО В РАННЮЮ ВСЕЛЕННУЮ

Волкова В.В.

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Бозе-эйнштейновский конденсат света (БЭК) — неклассическое (квантовое) состояние электромагнитного поля, при котором все фотоны описываются единой волновой функцией. Плотность фотонных состояний БЭК резонансна (соответствует дельта-функции Дирака), а сам свет обладает свойствами сверхтекучей жидкости и может распространяться в материальной среде не испытывая поглощения, как если бы взаимодействие с окружающим веществом отсутствовало. Данные качества делают БЭК чрезвычайно интересным объектом, позволяющим в лабораторных условиях воспроизвести и исследовать поведение материи на стадии радиационного доминирования Большого взрыва. В частности, БЭК открывает возможности прямого изучения каналов формирования тёмной материи и экспериментального измерения их ширины (вероятностей), что выступает новым, независимым от астрономических наблюдений и коллайдерных исследований, инструментом для космологии и физики частиц.

Настоящая работа посвящена исследованию БЭК и происходящих в нём процессов при "плении" света в резонансной фотонной ловушке — оптическом микрорезонаторе типа Фабри-Перо.

МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ ВРАЩАЮЩАЯСЯ ПЛАЗМА В ПРИБЛИЖЕНИИ ХОЛЛОВСКОЙ МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

Галстян Т.В.^{1,2}, Климачков Д.А.¹, Петросян А.С.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

Крупномасштабные процессы в частично ионизованной плазме играют определяющую роль в плазменной астрофизике и космической физике. Отметим, прежде всего, физические процессы в межзвездном газе, в астрофизических дисках и в ионосферах планет и Земли. Вращение частично ионизованной плазмы играет определяющую роль для описания крупномасштабных процессов. Полное описание частично ионизованной плазмы включает уравнения для электронной, ионной и нейтральной компонент. Такая система уравнений представляет собой неразрешимую задачу для аналитических и численных исследований. В работе развита теория, описывающая частично ионизованную плазму при наличии вращения всех компонент плазмы на основе Холловской магнитной гидродинамики. Получены дисперсионные уравнения в различных приближениях: быстрые вращения, медленные вращения, низкие частоты и высокие частоты. Анализ дисперсионных уравнений указывает на существенное влияние вращения на линейные моды. Получены волновые моды, которые вызваны только вращением. Также исследованы традиционные моды Холловской магнитной гидродинамики, подверженные изменениям вследствие вращения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ТРОПИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ НА КРУПНОМАСШТАБНУЮ ДИНАМИКУ ПОЛЯРНОЙ АТМОСФЕРЫ

Головко А.Г., Коваль А.В., Ермакова Т.С.

Санкт-Петербургский государственный университет

Цель исследования – оценить влияние тропических осцилляций на среднюю и верхнюю атмосферу высоких широт. Изучено влияние квазидвухлетнего колебания зонального ветра в экваториальной стратосфере (КДК) и Эль-Ниньо – Южного колебания (ЭНЮК) на динамическое состояние стратосферы, мезосферы и нижней термосферы зимой в Северном полушарии. Были проведены ансамблевые расчеты с помощью нелинейной Модели общей циркуляции средней и верхней атмосферы «МСВА» для января–февраля, позволившие оценить чувствительность полей зонального ветра, температуры, остаточной меридиональной циркуляции (ОМЦ), а также волновой активности на разные комбинации фаз ЭНЮК и КДК. В зависимости от комбинации фаз аномалия температуры и осцилляции зональной составляющей ветра различны, а усиление / ослабление ветвей ОМЦ смещается по высоте. Показано, что наибольший рост температуры в стратосфере и похолодание в мезосфере, а также ослабление стратосферного ночного струйного течения моделируются при условиях Эль-Ниньо и восточной фазы КДК, при этом отмечается максимальное ослабление меридионального течения от летнего полюса к зимнему на высоте 80-90 км. Обратная ситуация наблюдается при отрицательной фазе Ла-Нинья и западной фазе КДК: зональная компонента ветра максимальна в стратосфере умеренных широт, при минимальной температуре над полюсом. В результате такого разного проявления тропических осцилляций в высоких умеренных и высоких широтах, очевидно, их воздействие на частоту и интенсивность внезапных стратосферных потеплений. Событий, которые приводят к экстремальным волнам холода в тропосфере над Евразией, а также к формированию озоновых дыр.

Данное исследование проводилось в рамках проекта РНФ (№20-77-10006-П)

ВЛИЯНИЕ ИНВЕРСИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПЕРЕНОС ИОНОВ КИСЛОРОДА ИЗ ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ НА ЛУНУ

Горяной Е.Д.², Овчинников В.А.², Царева О.О.¹,
Попов В.Ю.^{1,2,3}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

³ *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

Поверхностная лунная вода может быть из трех источников: 1) первозданная вода, т.е. возникшая в недрах самой Луны и высвобожденная в результате вулканической активности; 2) ледяные кометы или богатые водой метеороиды, упавшие на Луну; 3) группы OH/H_2O , образовавшиеся в результате взаимодействия протонов солнечного ветра с лунным кислородом в минералах лунной поверхности.

В нашем исследовании мы стремимся проверить гипотезу образования воды за счет оттока ионов кислорода (O^+) из верхних слоев земной атмосферы на Луну, предложенную Kletetschka et al. (2022). Учитывая различные параметры, такие как среднее растяжение поля в области хвоста, ориентация межпланетного магнитного поля (ММП) и дипольная/квадрупольная конфигурация магнитного поля Земли, исследование было направлено на оценку количества ионов, вытекающих из Земли на Луну за всю историю взаимодействия Земли и Луны.

Основные результаты базируются на экспериментах, выполненных с помощью численного моделирования траектории ионов кислорода в цилиндрической теоретико-потенциальной магнитосфере.

По результатам получившаяся оценка количества воды на Луне на порядок меньше, чем оценка Kletetschka (2020). Если предположить, что Луна подвергалась ионной бомбардировке в течение огромного периода в 3,5 миллиарда лет, то наши расчеты позволяют предположить, что в лунном реголите накопилось около 350 км^3 воды.

КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ

Дертеев С.Б., Сапралиев М.Е.

Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова

В работе проводится вейвлет - анализ квазипериодических колебаний на основе дисперсии акустических волн в разреженной высокотемпературной плазме солнечной короны, точнее в корональных дырах и петлях. Согласно исследованиям, есть предположение, что дисперсия и затухание могут приводить к появлению квазипериодических колебаний [1]. Обычно, при исследовании квазипериодических колебаний, предполагают, что эти колебания существуют со счетным количеством периодов, между которыми имеется некоторая связь. Однако наблюдения показывают наличие более сложных непрерывных спектров, в которых периоды выделяют по подходящим максимумам. Такой подход служит основой в понимании процессов квазипериодических колебаний в нашем исследовании. Изучение базируется на предложенной нами ранее ТСССН-модели неадиабатических волн в высокотемпературной плазме, учитывающей свойства теплопроводности, радиационного охлаждения, а также нагрева, который считается постоянным [2]. Явные выражения для функций, описывающих все эти эффекты, позволяют получить явные зависимости групповой скорости и коэффициента затухания от волнового числа или периода колебаний, что значительно облегчает анализ. Эффект теплопроводности формирует локальный минимум групповой скорости, что дает возможность существования групп волн с относительно короткими и длинными периодами, распространяющимися с равной скоростью. Показано, что зависимость от частоты затухания ведет к появлению двух максимумов в спектре акустических колебаний, инициированных первоначально локализованным импульсом, в данном случае в виде распределения Гаусса. Этот теоретический вывод подтверждается результатами вейвлет-анализа модельных временных сигналов. Было рассмотрено несколько примеров для типичных для короны физических параметров плазмы и удалось получить периоды, близкие к наблюдаемым. Получаемые при моделировании периоды и длина затухания сигнала могут быть использованы для оценки параметров плазмы и длины начального импульса. Эффект нагрева и охлаждения формирует второй локальный минимум групповой скорости, однако соответствующие периоды находятся за пределами данных наблюдений.

Литература:

[1] Derteev, S.B., Shividov, N.K., Bembitov, D.B., and Mikhalyaev, B.B.: 2023, Damping and dispersion of nonadiabatic acoustic waves in a high-temperature plasma: a radiative-loss function. *Physics*. 5, 215. DOI:10.3390/physics5010017.

[2] Mikhalyaev, B.B., Derteev, S.B., Shividov, N.K., Sapralliev, M.E., and Bembitov, D.B.: 2023, Acoustic waves in a high-temperature plasma II. Damping and instability. *Solar Physics*. 298, 102. DOI: 10.1007/s11207-023-02196-5.

ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО ГЕОЦЕНТРИЧЕСКИМ ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ ОРБИТАМ

Дорожкин М.А., Переяслов Ю.В.

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

Современные тенденции развития космонавтики сталкиваются с рядом сложностей, требующих серьезного внимания и стратегического подхода. Ключевыми проблемами данного направления являются быстрое развитие технических инноваций, бурный рост количества запусков КА и преобладание космического мусора в околоземном космическом пространстве (ОКП), что требует постоянного обновления знаний и навыков у специалистов, работающих в этой области, а также обязывают нас осуществлять постоянный мониторинг космического пространства, исследование и прогнозирование движений малых космических объектов (МКО) в ОКП.

Настоящая работа посвящена созданию пользовательского программного комплекса, предназначенного для моделирования и исследования динамики малых тел в гравитационном поле Земли. Необходимость учёта специфики движения МКО в ОКП, привели к идее создания нескольких программных модулей (ПМ) в рамках одного программного комплекса. Ядром расчётной составляющей являются приближения основной математической модели небесной механики с соответствующими начальными условиями. В качестве вводных данных рассматриваются 6 орбитальных параметров, необходимых для моделирования динамики МКО: большая полуось (α), эксцентриситет (e), наклонение орбиты (i), долгота восходящего узла (Ω), аргумент перигея (ω) и момент прохождения МКО через перигей (t_{Π}). Предполагается, что для геоцентрических эллиптических орбит МКО выполняется условие $\alpha(1 - e) > R_{\oplus} + h_{eff}$, где R_{\oplus} - радиус Земли, h_{eff} - эффективная толщина атмосферного слоя у поверхности Земли, за пределами которого влиянием атмосферы планеты на динамику МКО можно пренебречь. Основу расчётов составляют баллистические законы, подлежащие программно-алгоритмической интерпретации. Так, были реализованы: ПМ «Движение МКО», демонстрирующий модель невозмущённого движения малых небесных тел с визуализацией элементов его орбит; ПМ «Прямая задача прогнозирования», предназначенный для решения соответствующей задачи; ПМ «Прохождение трассы полёта КА через зоны видимости наземных средств наблюдения», который позволяет построить трассу полёта КА и возможность наблюдения данного КА наземной станцией в зависимости от задаваемых орбитальных параметров. После построения портрета той или иной динамической системы, могут быть исследованы свойства системы в зависимости от задаваемых параметров в каждом ПМ.

Программно-вычислительный комплекс моделирования движения МКО по геоцентрическим эллиптическим орбитам, названный нами «ORBITRIUM», является оригинальной отечественной разработкой. Однако при её создании учитывался опыт аналогичных систем других проектов, в частности, Orbitron и SatPC32 для выработки уникальной системы имитационного моделирования невозмущённого движения КА в гравитационном поле Земли с тем, чтобы максимально приблизиться к решению проблем в современной ракетно-космической индустрии.

ДВУМЕРНАЯ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Дроздов К.А.^{1,2}, Петросян А.С.^{1,2}

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Институт космических исследований РАН

Цель данного исследования заключается в изучении спектров общей энергии двумерной магнитогидродинамической турбулентности в плазме, вырождающейся при наличии внешнего азимутального магнитного поля B_0 . В частности, исследование проводится с учетом приближения β -плоскости и использованием псевдоспектрального метода с диалиасингом $3/2$. Азимутальное магнитное поле рассматривается как фактор, оказывающий влияние на спектры энергии и потоки в плазме, что важно для понимания турбулентных процессов в таких условиях.

$$\nabla u = 0,$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla u) + 2\Omega \times u = -\frac{\nabla p}{\rho} + \frac{1}{c\rho} j \times (B + B_0) + \nu \Delta u,$$

$$\nabla B = 0,$$

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \nabla \times (u \times B) + \eta \Delta B.$$

В результате проведенной работы было проиллюстрировано наличие спектра Ирошникова-Крейчнана для суммарной энергии магнитогидродинамической турбулентности и его затухание со временем в результате сильного влияния диссипативного слагаемого, связанного с магнитным полем, на завихренность.

СТРУКТУРА ГОЛОВНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ АСТРОСФЕР НА МАСШТАБАХ РЕЗОНАНСНОЙ ПЕРЕЗАРЯДКИ

Корольков С.Д., Измоденов В.В.

Институт космических исследований РАН

Космическая плазма часто является не полностью ионизованной, в ней могут присутствовать атомы различных веществ. Так, например, концентрация водорода в межзвёздной среде, окружающей солнечную систему превышает концентрацию протонов плазмы. В межзвёздной среде водород и плазма находятся в термодинамическом равновесии, которое нарушается, после прохождения плазмы через ударную волну. Это может быть, например, головная ударная волна гелиосферы (области взаимодействия солнечного ветра с межзвёздной средой) или астросферы. После прохождения ударной волны плазма и атомы имеют различные термодинамические характеристики, и в результате перезарядки происходит процесс релаксации и термодинамические параметры выравниваются. Характерная длина области релаксации составляет несколько длин свободного пробега водорода (300 - 500 АЕ) и распространяется не только по потоку, но и против потока в область сверхзвуковой плазмы, в свою очередь изменяя параметры плазмы до и после ударной волны. Область изменения параметров плазмы можно считать макроструктурой ударной волны. В работе проводится параметрическое исследование структуры ударной волны в частично ионизованной плазме на масштабах средней длины свободного пробега водорода до резонансной перезарядки атома на протоне плазмы. Плазма описывается в рамках идеальной газовой динамики, а водород, из-за больших длин свободного пробега, описывается кинетическим уравнением с интегралом столкновения в форме Больцмана. Параметры плазмы и водорода в профиле ударной волны, а также ширина фронта определены для различных значений числа Маха сверхзвукового потока и концентрации межзвёздного водорода. Обсуждается возможность безударного перехода через звуковую линию в плазме, как предельное решение при бесконечной концентрации атомов водорода.

ФОТОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ИОНОСФЕРНО-ТЕРМОСФЕРНОЙ СИСТЕМЕ МАРСА

Кошкина Д.А.^{1,2}, Петросян А.С.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

Ионосфера Марса представляет собой важный слой, в котором происходит потеря нейтральной составляющей нижней атмосферы, поэтому представляется важным разработать фотохимическую модель ионосферы Марса, совместимую с ионосферно-термосферным слоем атмосферы.

В работе разработана фотохимическая модель верхней атмосферы Марса с учетом процессов ионизации и фотодиссоциации. В предлагаемой модели рассматриваются два варианта коэффициента вертикальной диффузии ионосферы: традиционная модель и модель Линдзена. В качестве исходного использовано уравнение непрерывности для описания модели переноса различных составляющих атмосферы Марса, и, используя две модели для коэффициента диффузии, разработана разностная схема для описания химических процессов атмосферы на основе модернизированного метода Ньютона второго порядка. Сформулированы граничные условия и построены высотные профили температур и давлений компонент ионосферы. Проведено сравнение результатов расчетов с обеими моделями. Разработанная модель имеет важное значение для понимания диссипации нейтральной атмосферы Марса.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕЛИЧИН МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ И ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Крамич А.С.

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

Важность исследования ионосферы и геомагнитного поля связана с функционированием спутниковых систем навигации и связи. При этом процессы, происходящие в ионосфере, взаимосвязаны с внешним магнитным полем Земли. Так, вспышки на Солнце помимо ионизации верхней атмосферы Земли приводят к многочисленным геофизическим последствиям: магнитным бурям, полярным сияниям и т.д.

Для прогноза сильных возмущений, влияющих на технические системы, важно иметь представление о повторяемости и характерных особенностях возмущений магнитного поля и полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы, предсказанию их поведения, в связи с чем в данной работе предложено спрогнозировать временные ряды ПЭС и величины магнитной индукции методами машинного обучения (нейронными сетями типа персептрон, свёрточная нейронная сеть и рекуррентная LSTM [1] сеть) и моделью ARIMA. Модель ARIMA демонстрирует результаты прогнозирования величины магнитной индукции и ПЭС гораздо лучшие, чем на основе ИНС (значения квадратного корня функции потерь $rmse$ при прогнозировании величины магнитной индукции в ходе вычислительных экспериментов оказалось равным 0,014 против 1,5967, 1,5094 и 1,4094 для ИНС типа MLP, CNN [2] и LSTM соответственно и 0,272 против 9,1024, 9,0615 и 8,9598 для ИНС типа MLP, CNN и LSTM соответственно при предсказании ПЭС).

На основании вышеперечисленного было принято решение использовать модель ARIMA для прогнозирования временных рядов. Применение ARIMA позволило построить предсказательную модель значений полного вектора индукции геомагнитного поля и ПЭС ионосферы на сутки вперёд, что имеет значение для функционирования систем навигации и связи, электросетей, критически важных объектов инфраструктуры.

Литература:

[1] Hochreiter, S. Long short-term memory / S. Hochreiter, J. Schmidhuber // Neural Computation. – 1997. – V. 9, № 9, P. 1735-1780.

[2] Lecun, Y. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition / Y. Lecun, B. Boser, J. S. Denker [et al.] // Neural Computation. – 1989. – V. 1, №. 4, P. 541-551.

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЛУНЫ НА ПК И В СРЕДЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Кучерявченко Н.А., Попандопуло Н.А.,
Александрова А.Г.

Национальный исследовательский Томский государственный университет

В работе представлено описание последней версии численной модели движения искусственных спутников Луны (ИСЛ), разработанной в НИИ ПММ ТГУ.

Программный комплекс «Численная модель движения ИСЛ» реализован в двух вариантах: первый - на обычных пользовательских компьютерах, и второй - на суперкомпьютере «СКИФ Cyberia» Томского государственного университета. Использование суперкомпьютера позволяет применять распределенные вычисления, что в свою очередь значительно сокращает время расчетов и дает возможность обрабатывать большее число данных. Представленное программное обеспечение позволяет прогнозировать движение ИСЛ и исследовать хаотичность движения окололунных объектов.

На данный момент программный комплекс обладает интуитивно понятным интерфейсом, позволяющим осуществлять выбор нужных пользователю параметров. Численная модель позволяет учитывать следующие возмущающие факторы, оказывающие влияние на движение ИСЛ: гармоника селенопотенциала до 1199 порядка и степени; гравитационные влияния Земли и Солнца, рассматриваемых как материальные точки; приливы, а также световое давление (СД). Стоит отметить, что возможен выбор модели селенопотенциала из следующих вариантов: LP100J, LP150Q, LP165P, GRAIL1199.

Исследование хаотичности движения окололунных объектов осуществляется с помощью осредненного параметра MEGNO, который рассчитывается в процессе интегрирования вместе с параметрами движения. Кроме того, в последнюю версию «Численной модели движения ИСЛ» была добавлена возможность вычислять вековые частоты объекта, необходимые при исследованиях влияния вековых резонансов на спутниковую динамику.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-72-10022, <https://rscf.ru/project/19-72-10022/>

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И РЕЗОНАНСНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭМИЦ ВОЛН В МАГНИТОСФЕРНОЙ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ПЛАЗМЕ

Лужковский А.А.

Институт космических исследований РАН

Электромагнитные ионно-циклотронные (ЭМИЦ) волны представляют собой поперечные левополяризованные волны, возбуждаемые в земной магнитосфере анизотропным неустойчивым распределением энергичных протонов с энергией 10-100 кэВ. ЭМИЦ волны играют значительную роль в динамике магнитосферной плазмы и способны резонансно взаимодействовать с ионами и электронами на циклотронных резонансах. Как хорошо известно, следствием резонансного взаимодействия ЭМИЦ волн с протонами является рассеяние последних по питч-углам и их высыпание в земную атмосферу. Кроме того, считается, что резонансное взаимодействие с ЭМИЦ волнами на первом циклотронном резонансе играет важную роль в процессах питч-угловой диффузии релятивистских электронов радиационных поясов. Поскольку частота ЭМИЦ волн много меньше электронной циклотронной частоты, то циклотронный резонанс не изменяет энергию электронов, а приводит только к изменению их питч-угла.

В настоящей работе исследуются вопросы генерации, распространения и резонансного взаимодействия этих волн в многокомпонентной плазме, содержащей, помимо электронов и протонов, ионы гелия и кислорода. С помощью модельной неустойчивой функции распределения энергичных протонов, учитывающей конус потерь и температурную анизотропию, в области генерации определяются частота и начальный угол волновой нормали волнового пакета, соответствующие максимальному значению линейного инкремента волны. В предположении дипольного магнитного поля Земли и модели плотности холодной плазмы, представленной в [1], производится расчет траектории монохроматического пакета ЭМИЦ волн, распространяющегося в земной магнитосфере в соответствии с законами геометрической оптики. Вдоль траектории распространения волнового пакета вычисляется линейный инкремент волны. В работе исследуется взаимодействие указанного волнового пакета с электронами Ландау резонанса, которое, несмотря на относительно малую величину продольной компоненты электрического поля ЭМИЦ волны, может приводить к изменению энергии резонансных электронов и затуханию волны.

Литература:

[1] Bortnik, J., Chen, L., Li, W., Thorne, R.M., & Horne, R. B. (2011). Modeling the evolution of chorus waves into plasmaspheric hiss. *Journal of Geophysical Research*, 116, A08221. <https://doi.org/10.1029/2011JA016499>

МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ЭКРАНА ЩИТА УИШЛА МЕТОДОМ ЧАСТИЦ

Мещеряков Ю.И.¹, Коновалов Г.В.¹, Жигачева Н.И.¹,
Нечунаев А.Ф.²

¹ *Институт проблем Машиноведения ИПМаш РАН РАН*

² *Санкт-Петербургский государственный университет*

По мере увеличения объема космического мусора в околоземном пространстве все более актуальным становится вопрос о защите космического аппарата от ударов микрочастиц техногенного и нетехногенного происхождения, как одиночными защитными экранами, так и многослойными [4]. Особое внимание следует уделять моделированию проникания микрочастицы в первый, а затем, последовательно, во второй экран щита Уишпла. Как правило, при проектировании считается, что первый экран щита Уишпла будет изготовлен тонким: это 0,5-1 мм, а второй экран - толщиной до 10 мм.

Вместе с проведением натуральных экспериментов по ударно-волновому нагружению алюминия авторы предложили способ численного нагружения второго экрана щита Уишпла эквивалентным плоским ударником, в котором масса частиц, летящих ко второму экрану щита Уишпла, «модельно концентрируется» в одном плоском ударнике.

Вычислительные исследования проводили методом сглаженных частиц [2,3]. А натурные испытания проводили на ударном копре, для разгона ударника которого используется газ гелий [1]. Во время проведения натуральных испытаний регистрировалась скорость на свободной поверхности мишени, а также, проводился расчет дисперсии по скоростям.

Было замечено, что при «модельной упаковке» всех тех частиц, которые движутся ко второму экрану щита Уишпла, и которые находятся в трехмерном цилиндре, ограниченном с одной стороны, вторым экраном щита Уишпла, а с другой – первым экраном - получается хорошее согласие по массе ударника, который ударяется во второй экран щита Уишпла.

Важной особенностью проверки второго экрана щита Уишпла на прочность, является моделирование его ударного нагружения «эквивалентным» ударником такой же массы, как и суммарная масса частиц, находящихся в рассмотренном выше трехмерном цилиндре. А проверка на откол при таком моделировании – является ключевой проверкой. Авторами было показано, что откол формируется в той зоне внутри алюминиевой мишени, в которой дисперсия по скоростям частиц максимальна.

Таким образом, предложен способ расчета второго экрана щита Уишпла на прочность, при котором он нагружается ударником эквивалентной массой. А указанная масса рассчитывается из суммарной массы частиц, находящихся в облаке осколков и движущихся ко второму экрану после нагружения и пробития первого. Такой подход является экономически целесообразным, т.к. позволяет снизить расходы на эксплуатацию ударного копра, который необходим для разгона ударников до больших скоростей.

Литература:

[1] Мещеряков Ю.И. Многомасштабные ударно-волновые процессы в твёрдых телах. – СПб., Нестор-История, 2018.

[2] Firooz A. Allahdadi et al. HIGH STRAIN LAGRANGIAN HYDRODYNAMICS: A THREE-DIMENSIONAL SPH CODE FOR DYNAMIC MATERIAL RESPONSE // Phillips Laboratory AD-A262 798

[3] M.B. Liu, G.R. Liu. Smoothed Particle Hydrodynamics A Meshfree Particle Method, 2003, World Scientific Publishing

[4] Silnikov, M.V., Guk, I.V., Mikhaylin, A.I., Nechunaev, A.F., Rumyantsev, B.V. Numerical simulation of hypervelocity impacts of variously shaped projectiles with thin bumpers. // Materials Physics and Mechanics, 2019, 42(1), p. 20–29

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ТУРБУЛЕНТНОГО АККРЕЦИОННОГО ДИСКА С ОСТАТОЧНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Орлов А.К.¹, Хайбрахманов С.А.^{1,2}

¹ Челябинский государственный университет

² Санкт-Петербургский государственный университет

Работа посвящена численному моделированию эволюции турбулентного аккреционного диска молодой звезды типа Т Тельца с учетом ослабления магнитогазодинамической (МГД) турбулентности в областях низкой степени ионизации и эффективной диффузии магнитного поля («мертвых зонах» диска).

Моделирование осуществляется на основе решения уравнения вязкой эволюции диска (Lynden-Bell, Pringle, 1974), в которой коэффициент молекулярной вязкости заменяется на коэффициент турбулентной вязкости. Для расчета коэффициента турбулентной вязкости используется α -модель Шакуры и Сюняева (1973). Значение параметра α принимается равным $\alpha = 10^{-4}$ в «мертвых зонах» и $\alpha = 0,01$ в остальных областях диска. Степень ионизации и интенсивность магнитного поля рассчитываются по характеристикам диска в рамках модели Дудорова и Хайбрахманова (2014). Основными источниками ударной ионизации являются космические и рентгеновские лучи, а также радиоактивные элементы. В качестве основных процессов рекомбинации рассматриваются лучистые рекомбинации и рекомбинации на пыли.

Итоговое уравнение эволюции диска является нелинейным уравнением параболического типа. Для данного уравнения построена консервативная полностью неявная разностная схема 1-го порядка точности по времени и 2-го по координате. Решение ищется в области от 0,01 а.е. до 1000 а.е.

С учетом используемых приближений коэффициент турбулентной вязкости зависит от радиальной координаты как $\nu \sim R$. В диске можно выделить три области. Наиболее быстро перенос вещества происходит во внешних областях диска, где имеет место максимум степень ионизации. На начальном этапе эволюции область диска от 0,1 до 30 а.е. представляет собой «мертвую зону», в которой эволюция происходит медленно и в которой скапливается большая часть вещества. Внутренняя область диска, $R < 0,1$ а.е., характеризуется $\alpha = 0,01$, но эволюция в ней происходит медленнее, чем на периферии диска. В ходе дальнейшей эволюции плотность вещества в диске уменьшается. За 5 млн. лет «мертвая зона» сокращается до интервала радиусов от 0,1 до 3 а.е. В ходе эволюции интенсивность остаточного магнитного поля, как вследствие уменьшения плотности вещества, так и из-за амбиполярной диффузии. С уменьшением магнитного поля уменьшается и магнитный поток диска. Результаты расчетов согласуются с представлениями о том, что именно в «мертвой зоне», как наиболее плотной области диска, должно происходить планетообразование.

РАДИОТОМОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИОНОСФЕРЫ ДЕТЕРМИНИСТСКИМИ МЕТОДАМИ

Савиных И.Э.

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

Радиотомография ионосферы основана на измерении задержки электромагнитного сигнала GPS, появляющейся из-за неоднородностей электронных полей в ионосфере. Сопутствующие распространению электромагнитной волны процессы рассеяния и поглощения приводят к тому, что радиосигнал ослабевает при прохождении через облако электронов в ионосфере, причем ослабление имеет экспоненциальный характер согласно закону Бугера [1].

Данные задержки сигнала по фазе впоследствии используются для оценивания полного электронного содержания (ПЭС) с целью применения алгоритмов вычислительной томографии и синтеза изображения электронной плотности. В предложенных алгоритмах радиотомографии используются данные ПЭС для создания ее двумерных изображений ионосферы, что позволяет оценить как структуру, так и динамику ионосферы. С развитием информационных технологий и увеличением количества GPS-станций ожидается, что радиотомография атмосферы, в частности ионосферы, станет более точной и информативной. Проекция является математической операцией, подобной физической операции получения изображения в рентгеновских лучах с помощью коллимированного источника излучения. В результате получается тень, т. е. трёхмерная структура неизвестного объекта сводится к двумерному изображению, которое можно измерить [2]. В настоящем докладе рассматриваются одномерные проекции двумерных объектов.

Методы томографии разделяются на итерационные, статистические и детерминированные, основанные на точных математических моделях. К детерминированным относятся методы, основанные на теореме о срезе и на преобразовании Радона. Преобразование Радона имеет простой геометрический смысл. Это по сути интеграл от функции вдоль прямой, перпендикулярной вектору, образующему угол с осью полярной системы координат получения данных и проходящей на расстоянии, измеренном вдоль вектора, с соответствующим знаком от начала координат. Одномерный сигнал (проекцию) можно представить, как двумерный сигнал, отфильтрованный по одной переменной и однородный по другой. Операция восстановления двумерной функции начинается с одномерной функции как проекции. Эта операция называется обратной проекцией. Функция получается из обратной проекции этой функции в определенном направлении. Поскольку ориентация координатной системы различна для каждого из проекционных углов, то каждая из отфильтрованных обратных проекций будет иметь свою ориентацию.

Для метода, основанного на теореме о срезе, связь между проекцией и восстанавливаемым изображением можно описать посредством 1D-спектра Фурье проекции, полученной под определенным углом, представляющего собой сечение 2D-спектра двумерного преобразования Фурье двумерной функции концентрации. Этот 1D-спектр оценивается вдоль линии, проходящей через начало координат 2D-спектра и составляющей определенный угол с осью абсцисс в области пространства частот. Эту функцию сечения называют срезом под определенным углом.

Проведены вычислительные эксперименты по восстановлению 2D-изображений на основе детерминистских методов томографии. Полученные результаты демонстрируют восстановление по радиальным линиям спектра.

Литература:

[1] Способ оценивания полного электронного содержания в ионосфере на основе ретрансляции сигналов глобальной навигационной спутниковой системы GPS / И. В. Белоконов [и др.] // Информатика. - 2023. - Т. 20, No 2. - С. 7-27.

[2] Даджион Д. Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов: Пер. с англ.—М.: Мир, 1988.— 420 с.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЭФЕМЕРИДЫ ОБЪЕКТА КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА, ВЫЧИСЛЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ БИБЛИОТЕКИ OREKIT

Санникова Т.Н.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

Разработана программа вычисления эфемериды объекта космического мусора с помощью инструментов Java-библиотеки космической динамики Orekit (<https://www.orekit.org/>) и оболочки Python-wrapper (<https://gitlab.orekit.org/orekit-labs/python-wrapper>), позволяющей использовать Orekit в среде Python. Эфемериды реальных малоразмерных объектов вычислены путем численного интегрирования с учетом различных наборов возмущающих факторов. Проведена оценка точности полученных эфемерид путем сравнения вычисленных положений с наблюдаемыми. Использованы наблюдательные данные для объектов космического мусора в геостационарной области, полученные в течение 2022 года в Крымской астрофизической обсерватории на телескопе АТ-64, а также элементы орбиты и сведения об отношении площади к массе этих объектов, полученные в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН.

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА С ЦЕЛЬЮ ПОИСКА ОРБИТ ПРИГОДНЫХ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ И ПАРКИНГА ОТРАБОТАВШИХ ИСЗ И РАЗМЕЩЕНИЯ НОВЫХ СПУТНИКОВ

Томилова И.В., Александрова А.Г., Кучерявченко Н.А.,
Блинкова Е.В.

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Околоземное космическое пространство (ОКП) с каждым годом становится все более технически загруженным. На данный момент по оценкам Европейского космического агентства (ESA) в ближнем космосе находятся более 130 млн. объектов искусственного происхождения более 1 мм в диаметре. С момента запуска первого искусственного спутника Земли (ИСЗ) по состоянию на декабрь 2023 г. количество выведенных на орбиты ИСЗ составило 16990 объектов, из которых 11500 все еще находятся в ОКП, при этом всего 9000 аппаратов являются функционирующими. За время освоения ближнего космоса произошло более 640 фрагментаций околоземных объектов, что значительно увеличило их число. Как видно из приведенных цифр, действующие спутники составляют малый процент от всех искусственных околоземных объектов и все остальное – это космический мусор. На данный момент на регулярной основе отслеживается порядка 35 тыс. объектов космического мусора. В связи с этим в последние годы опасности со стороны космического мусора уделяется всевозрастающее внимание. Проводятся всевозможные исследования долговременной орбитальной эволюции таких объектов, поиск орбит захоронения. Под орбитами захоронения будем понимать два типа орбит: утилизации и паркинга. В первом случае предполагается, что после размещения ИСЗ на орбиту, происходит его полная утилизация под действием возмущающих сил, а во втором, что объекты просуществуют на орбите длительное время. Был проведен анализ динамической структуры околоземного орбитального пространства и результатов исследования динамики каталогизированного космического мусора, представленного в каталоге NORAD с целью выбора зон ОКП, пригодных для утилизации и паркинга отработавших ИСЗ, а также зон, пригодных для размещения новых спутников.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-72-10022, <https://rscf.ru/project/19-72-10022/>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ, ЯВЛЯЮЩЕГОСЯ ИСТОЧНИКОМ ЗАТРАВОЧНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ГАЛАКТИКЕ

Тян А.И.¹, Михайлов Е.А.^{1,2}

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

² *Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН*

Большое количество спиральных галактик обладает крупномасштабными магнитными полями. Как правило, их генерацию связывают с действием механизма динамо, основанного на одновременном присутствии дифференциального вращения и альфа-эффекта. Подобный подход хорошо описывает экспоненциальный рост поля при умеренных красных смещениях. Тем не менее он не объясняет возникновение затравочных магнитных полей, которые могут являться начальными условиями для действия механизма динамо. Их возникновение должно быть связано с принципиально другими физическими явлениями и процессами. Одним из объяснений возникновения затравочных магнитных полей может служить механизм Бирмана [1], впервые предложенный в середине прошлого века. Он связан с движением заряженных частиц, протонов и электронов, в радиальном направлении. Ввиду существенного различия масс данные частицы по-разному взаимодействуют со средой галактики, движущейся в азимутальном направлении. Тяжёлые протоны обладают большей инерцией и приобретают меньшую угловую скорость, за счёт этого возникают круговые токи, которые приводят к возникновению магнитных полей, перпендикулярных к диску [2]. Первые работы носили скорее качественный характер и ставили своей целью лишь нахождение порядка величины поля. Между тем гораздо больший интерес представляет изучение детальной структуры магнитных полей. Здесь стоит отметить работы, связанные с усреднением магнитных полей и сводящиеся к решению интегральных уравнений Фредгольма второго рода [3]. Тем не менее, представляет интерес многочастичное моделирование движения пар протонов и электронов, которое было проведено в данной работе. На каждый из элементов пары действуют силы со стороны среды и магнитное поле, созданное остальными парами. Данные уравнения решались численно, после чего вычислялось значение суммарного магнитного поля, создаваемого всей совокупностью частиц в различных точках галактики. Итоговое распределение магнитного поля оказалось довольно близким к результатам, полученным ранее другими методами [3]. Тем не менее, хотелось бы в будущем расширить количество частиц, используемых при моделировании.

Литература:

[1] L. Biermann, A. Schlüter, Cosmic Radiation and Cosmic Magnetic Fields. II. Origin of Cosmic Magnetic Fields, Phys. Rev. 82, 863 (1951).

[2] Р. Р. Андреасян, Механизм образования дипольного магнитного поля в центральных областях активных галактик, Астрофизика 39, 111 (1996).

[3] Е. А. Михайлов, Р. Р. Андреасян, Батарейный механизм Бирмана и структура начального магнитного поля в галактиках, Астрономический журнал 98, 795 (2021).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРИЕНТАЦИИ КА

Фраерман А.В.

*Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ*

Любая космическая миссия начинается с её проектирования. От точности проектирования миссии зависит качество её научных результатов, поэтому модели, используемые при расчётах параметров миссии, должны удовлетворять заданным точностям. Запуск проекта «Радиоастрон» показал, что для достижения необходимых точностей научных результатов, важно, как можно точнее моделировать орбиту КА, в том числе и его ориентацию.

Прогнозирование и определение ориентации является важной частью баллистико-навигационного обеспечения. Учёт изменения ориентации КА при движении по орбите открывает возможность к более точному прогнозированию импульсов коррекций, что является существенным фактором при проектировании космической миссии.

В лаборатории баллистико-навигационного обеспечения космических проектов АКЦ ФИАН ведется разработка программно-математического модуля моделирования ориентации космических аппаратов. Данный модуль планируется использовать для будущих космических миссий, в том числе миссии «Миллиметрон». В качестве методов численного интегрирования уравнений поступательного и вращательного движения КА предлагается использовать алгоритм Эверхарта и вариационный интегратор для расчёта кватернионов поворота.

В докладе представлены текущие результаты работы по разработке программно-математического модуля моделирования орбит КА с учётом изменяемой ориентации. Продолжается работа по улучшению программного модуля для более точного моделирования ориентации и орбиты КА: уточняется модель сил и моментов сил. Все расчёты проходят численную и качественную проверку для различных типов конструкций КА.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИВЫХ БЛЕСКА КОСМИЧЕСКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ В ГАММА-ДИАПАЗОНЕ

Хабибуллин А.А.¹, Позаненко А.С.², Лозников В.М.²

¹ *НИУ Высшая школа экономики*

² *Институт космических исследований РАН*

Из наблюдений известно, что кривая блеска гамма-всплесков в гамма-диапазоне состоит из отдельных импульсов, большинство импульсов (Hakkila & Preece 2011) описывается аналитической формой Fast Rise Exponential Decay (FRED), предложенной в работе (Norris et al. 2005). Причина формирования такого профиля импульса неизвестна. Исследование зависимостей параметров импульсов (длительность, асимметрия, амплитуда, распределение по частоте встречаемости) может помочь как определению класса физических процессов формирования импульсов, так и при классификации и определении макроскопических параметров источников излучения гамма-всплесков, таких как, например, расстояние до них. Однако исследование индивидуальных импульсов чрезвычайно затруднено, так как в кривой блеска эти импульсы существенно пересекаются друг с другом (эффект нагромождения), что препятствует выделению импульсов и определению их параметров. Поэтому, эффективно сравнивать наблюдаемые и смоделированные кривые блеска напрямую невозможно. Мы используем спектры мощности смоделированных кривых блеска для сравнения со спектром мощности выборки наблюдаемых кривых блеска так, чтобы эти спектры совпадали. В нашей работе кривые блеска генерируются случайным образом исходя из предположения, что для каждого параметра импульсов существует некоторое распределение. Показано, что только при введении зависимости между длительностью и параметром асимметрии можно достичь сходства наблюдаемых спектров мощности и полученных после моделирования кривых блеска методом, описанным выше. В работе также приведены и обсуждаются спектры мощности смоделированных кривых блеска для других (не FRED) аналитических профилей, используемых для описания импульсов, формирующих кривые блеска.

Литература:

[1] Hakkila, J. and Preece, R. D., “Unification of Pulses in Long and Short Gamma-Ray Bursts: Evidence from Pulse Properties and Their Correlations”, *The Astrophysical Journal*, vol. 740, no. 2, 2011. doi:10.1088/0004-637X/740/2/104

[2] Norris, J. P., Bonnell, J. T., Kazanas, D., Scargle, J. D., Hakkila, J., and Giblin, T. W., “Long-Lag, Wide-Pulse Gamma-Ray Bursts”, *The Astrophysical Journal*, vol. 627, no. 1, pp. 324–345, 2005. doi:10.1086/430294

О ВЛИЯНИИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ДЕФОРМАЦИЮ РАДИОИМПУЛЬСОВ ГИГАГЕРЦЕВОГО ДИАПАЗОНА НА МЕЖПЛАНЕТНОЙ ТРАССЕ

Худышев Ю.С.

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

Турбулентные потоки ионизированного газа (солнечный ветер) распространяются со значительными скоростями примерно в радиальных направлениях от Солнца, заполняя солнечную систему, и содержат неоднородности электронной концентрации с характерными размерами в сотни и тысячи километров.

Прохождение электромагнитных импульсов по межпланетной трассе может сопровождаться их значительными искажениями, обусловленными частотной дисперсией в плазменной среде. Флуктуации электронной концентрации в неоднородностях солнечного ветра могут приводить к изменению фазового набега относительно средних значений, поэтому вопрос учета влияния неоднородностей на деформацию радиоимпульсов, распространяющихся по межпланетной трассе, является актуальным.

В докладе приведены результаты анализа характера и особенностей искажений радиоимпульсов гигагерцевого диапазона с различными начальными характеристиками при распространении по межпланетной трассе Земля - Солнце. Оценено влияние возможных флуктуаций электронной концентрации неоднородностей солнечного ветра на интегральную электронную концентрацию трассы и фазовый набег частотных гармоник на ней. Показано, что при распространении в “медленном” солнечном ветре, флуктуации электронной концентрации неоднородностей незначительно влияют на деформацию рассматриваемых радиоимпульсов. Рассмотрена деформация радиоимпульсов на трассах, характерных для расстояний от Земли до Венеры, Меркурия и Солнца в периоды разной солнечной активности.

ПРЕДСКАЗАНИЕ АНОМАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПОЛНОГО ВЕКТОРА ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ

Шапкин А.С.^{1,2}, Крамич А.С.¹, Золотой С.А.²,
Котов Д.С.²

¹ *Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси*

² *УП "Геоинформационные системы" НАН Беларуси*

Процессы, происходящие в ионосфере, взаимосвязаны с геофизическими полями, в частности с внешним магнитным полем Земли. Так, вспышки на Солнце помимо ионизации верхней атмосферы Земли приводят к многочисленным геофизическим последствиям: магнитным бурям, полярным сияниям и т.д. Изменение геомагнитного поля оказывают влияние на жизнедеятельность человека, в том числе на функционирование аппаратуры и систем связи. Для прогноза сильных возмущений, влияющих на технологические системы, важно иметь представление о повторяемости и характерных особенностях возмущений геомагнитного поля и электронного содержания ионосферы. Целью работы является построение предсказательной модели аномального изменения величины полного вектора индукции (ПВИ) геомагнитного поля на основе оценок полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы и ранее измеренных данных ПВИ, что представляет интерес для мониторинга ситуации вокруг критически важных объектов, таких как АЭС, ЛЭП и т.д.

Основной характеристикой при изучении ионосферы является ПЭС, определяемое как интеграл от электронной плотности по пути распространения волны с поперечным сечением 1 м^2 между спутником и наземной станцией. Используя ранее разработанный алгоритм оценки ПЭС [1], были получены значения среднего вертикального ПЭС. В то же время, Национальной системой мониторинга окружающей среды Республики Беларусь регистрируются изменения во времени горизонтальных (x и y) и вертикальной (z) составляющих ПВИ внешнего геомагнитного поля. Для анализа использовалась величина ПВИ магнитного поля, представляющая собой корень из суммы квадратов горизонтальной и вертикальной компонент.

На основе собранных данных был построен график зависимости коэффициента корреляции Пирсона ПЭС и ПВИ от времени задержки ПВИ, показывающий, что статистически изменения ПЭС предшествуют изменениям ПВИ. Это даёт основание считать, что сильному возмущению магнитного поля (магнитной буре) предшествует сильное возмущение ионосферы. Центром геофизического мониторинга НАН Беларуси предоставлена информация о зафиксированных магнитных бурях, в том числе о дате и времени начала бурь и их конце. С помощью этих данных была получена вероятность аномального изменения ПВИ (наступления геомагнитной бури) в последующие сутки при детектировании сильного возмущения ионосферы, как предложено в [2], а также построены предсказания значений ПВИ на сутки вперёд с помощью модели ARIMA, что имеет значение для функционирования систем навигации и связи, электросетей, критически важных объектов инфраструктуры.

Литература:

[1] Шапкин А.С., Потапов К.О. Алгоритм оценки полного электронного содержания ионосферы // Вычислительные технологии и прикладная математика : Материалы II Международного семинара (12-16 июня 2023 г., Благовещенск). Благовещенск: Изд.-во Амурского гос. Университета, 2023. С. 225–228.

[2] Пулинец С.А., Узунов Д.П., Давиденко Д.В., Дудкин Е.И., Цадиковский Е.И. Прогноз землетрясений возможен?!. М.: Тривант, 2014. 144 с.

ФИЗИКА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ



ВЛИЯНИЕ ГЕЛИОСФЕРНОГО УДАРНОГО СЛОЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ МЕЖЗВЕЗДНОЙ ПЫЛИ В ОКРЕСТНОСТИ СОЛНЦА

Годенко Е.А.^{1,2,3}, Измоденов В.В.^{2,3,1}

¹ *Институт проблем механики РАН им. А.Ю. Ишлинского*

² *Институт космических исследований РАН*

³ *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

Межзвездные пылевые частицы проникают в гелиосферу из-за относительного движения Солнца и Локального межзвездного облака. По пути в гелиосферу пылинки пролетают через гелиосферный ударный слой - область взаимодействия плазмы солнечного ветра и локальной межзвездной среды. Поскольку пылинки под действием фотоэмиссии и вторичной электронной эмиссии приобретают электрический заряд, на них действует электромагнитная сила, которая существенно влияет на траектории.

В данной работе мы провели исследование того, как гелиосферный ударный слой влияет на распределение пылевых частиц во внутренней гелиосфере. Для этой цели нами была разработана кинетическая модель распределения межзвездной пыли в гелиосфере, в которой впервые одновременно учитываются эффекты гелиосферного слоя и вращающегося гелиосферного токового соля. Результаты расчетов показывают, что гелиосферный ударный слой оказывает существенное влияние на распределение достаточно мелких пылинок (радиус до 250 нм), в то время как крупные пылинки проходят через эту область практически беспрепятственно. Более детальный анализ на примере частиц радиуса 150 нм показал, что влияние гелиосферного ударного слоя на распределение пылинок во внутренней гелиосфере, в основном, проявляется через отклонение потока пыли во внешнем ударном слое под действием межзвездного магнитного поля. При этом изменения в распределении концентрации пыли сразу после прохождения через гелиосферный ударный слой практически не влияют на распределение пыли в окрестности Солнца. Было также установлено, что распределение концентрации пыли во внутренней гелиосфере чувствительно к используемой модели гелиосферы, и, в частности, к параметрам межзвездного магнитного поля. Таким образом, анализ данных по межзвездной пыли во внутренней гелиосфере открывает новый путь для удаленной диагностики параметров межзвездного магнитного поля.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ PIVLAB ДЛЯ АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСАХ МАССЫ НА ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЦА

Каламанов В.Г.

Институт космических исследований РАН

Для разработки модели корональных выбросов массы (КВМ) необходимо понимать условия, когда солнечная масса может выйти в межпланетное пространство и когда КВМ не образуется. Поэтому необходим инструмент для оперативной сортировки корональных выбросов массы на подгруппы в зависимости от их скоростного профиля.

Цель данного исследования – установить, может ли гидродинамическая компьютерная программа PIVLab анализировать высокоскоростные потоки сплошной среды, а также выяснить возможность использования данной программы для определения скоростного профиля потоков плазмы при корональных выбросах массы на Солнце.

Программа работает на принципе Particle Image Velocimetry (PIV), который определяет скоростной профиль потока жидкости, фокусируясь на конкретных подсвеченных частицах, определяя их расположение на разных кадрах видео, и выстраивая соответствующий вектор для последующего анализа.

Исходя из результатов численного эксперимента, можно сделать вывод, что программа PIVLab испытывает трудности при анализе высокоскоростных потоков. Она не может эффективно захватить объект для отслеживания его перемещения и анализа его поведения. Отчасти, это связано со слишком высокой скоростью потока. Отчасти, со слишком сильным световым загрязнением. Однако следует заметить, что сам PIV метод имеет право на существование в физике космической плазмы, но необходимо адаптировать программу к новой среде.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АВРОРАЛЬНОГО КИЛОМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА СПУТНИКЕ WIND

Колпак В.И.^{1,2,3}, Могилевский М.М.¹, Чугунин Д.В.¹,
Чернышов А.А.¹, Мойсеенко И.Л.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

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

³ *Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики"*

В ранних работах было показано, что при распространении аврорального километрового радиоизлучения (АКР) в магнитосфере Земли может происходить "захват" излучения в плазменные каналы – неоднородности плазмы, вытянутые вдоль магнитного поля, и распространение излучения по этим каналам. "Захват" излучения может происходить даже при условии $f > f_{pe}$ (f – частота АКР, f_{pe} – плазменная частота электронов), если угол падения излучения на стенки канала θ не превышает некоторый угол θ , величина которого зависит от локального значения f_{pe} и свойств стенки канала Δf_{pe} . Используя это свойство, АКР мы анализировали частоту появления излучения в зависимости от положения спутника WIND, солнечной активности (числа Вольфа, частота появления солнечных радиовсплесков третьего типа) и свойств солнечного ветра. Результаты анализа показывают:

- что всплески излучения, зарегистрированные волновым прибором на спутнике WIND, являются АКР и, соответственно, их источник находится в магнитосфере Земли;
- временная зависимость частоты регистрации АКР на орбите спутника WIND: наблюдается длиннопериодная модуляция частоты регистрации АКР. Период модуляции совпадает с периодом солнечной активности, но находится в противофазе с ним – при активном Солнце частота регистрации АКР уменьшается, а при спокойном – увеличивается;
- пространственная зависимость: частота регистрации АКР увеличивается пропорционально величине Y_{gse} .

КАЛИБРОВКА НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ

Лагойда И.А., Кузьменкова П.С.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Нейтронные мониторы расположены на поверхности Земли и регистрируют вторичную компоненту космических лучей (КЛ), образовавшуюся после взаимодействия первичных КЛ с атмосферой Земли. Данные детекторы характеризуются хорошей статистикой измерений, в сравнении с детекторами расположенными на космических спутниках, однако точный учет влияния земной атмосферы довольно затруднителен. Более того, не каждая частица КЛ способна вызвать широкий атмосферный ливень (ШАЛ), вторичные частицы которого достигнут точки расположения нейтронного монитора. Вследствие чего, каждый нейтронный монитор характеризуется жесткостью геомагнитного обрезания, величиной численно равной минимальному значению жесткости, при которой частица КЛ способна достичь заданной точки на поверхности Земли и вызвать отклик в наземном детекторе. Таким образом, нейтронные мониторы в значительной степени менее чувствительны к низкоэнергетической компоненте КЛ. Однако, нейтронные мониторы ведут измерения уже на протяжении нескольких десятков лет и являются незаменимым инструментом в изучение различных эффектов модуляции КЛ. Более того, данные приборы не подвержены радиационному износу, по сравнению с аппаратурой расположенной на космических спутниках. В работе представлен алгоритм калибровки нейтронных мониторов арктической зоны РФ на измерения потоков КЛ в космофизических экспериментах. Изучена возможность восстановления временных профилей Форбуш понижений в первичных потоках КЛ с помощью данных нейтронных мониторов. Данные о потоках космических протонов и ядер гелия, используемые в работе, зарегистрированы спектрометром AMS-02 в период с 2011 по 2019 г.

НАБЛЮДЕНИЯ MMS ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ НЕИДЕАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ СОВМЕСТНО С ИНТЕНСИВНЫМИ ТОКОВЫМИ СТРУКТУРАМИ ВБЛИЗИ НЕЙТРАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ПЛАЗМЕННОГО СЛОЯ ГЕОМАГНИТНОГО ХВОСТА ЗЕМЛИ

Леоненко М.В.^{1,2}, Григоренко Е.Е.¹, Зелёный Л.М.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

Продольные ускоренные пучки электронов, распространяющиеся вдоль сепаратрис являются один из возможных проявлений магнитного пересоединения. Подобные структуры были исследованы благодаря миссии Magnetospheric Multiscale Mission (MMS), позволяющей изучать процессы, протекающие в плазме на электронных кинетических масштабах. Во множестве работ было показано, что распространение таких пучков может приводить к генерации электростатических волн. В данной работе мы сообщаем о обнаружении подобных структур не только на сепаратрисах магнитного пересоединения, но и внутри плазменного слоя, вблизи нейтральной плоскости.

Показано, что интенсивные сверхтонкие токовые слои (СТС) с плотность электрического тока до ~ 100 нА/м² наблюдаются всюду в плазменном слое, совместно с распространением быстрого плазменного потока (БПП). Также наблюдаются неидеальные электрические поля ($\mathbf{E}' = \mathbf{E} + [\mathbf{v}_e \times \mathbf{B}]$) до ~ 100 мВ/м, свидетельствующие о локальных нарушениях критерия вмороженности электронной компоненты плазмы. Это выражается в присутствии значительной диссипации энергии. Объемная мощность трансформации энергии ($j \cdot E'$) достигает $\sim \pm 1500$ пВт/м³, что соответствует характерным значениям величины внутри электронной диффузионной области. Всплески параметра ($j \cdot E'$) наблюдаются спорадически, с разным знаком ($j \cdot E'$). Это свидетельствует о присутствии локализованной диссипации энергии от волн к частицам и/или наоборот в различных областях турбулентного БПП. В работе демонстрируется спорадически наблюдаемые всплески параллельной анизотропии электронного потока для частиц с энергией выше тепловой $> T_e$. Из этого следует присутствие ускоренных электронных пучков, создаваемых сверхтепловой популяцией электронов. Такие пучки способны генерировать продольные СТС, аналогичные тем, что наблюдаются на сепаратрисах магнитного пересоединения. Таким образом, в работе показывается присутствие ускоренных электронных пучков и, связанных с ними, интенсивных СТС всюду внутри плазменного слоя, в том числе, на замкнутых силовых линиях.

Для анализа неидеальных электрических полей, ассоциированных с присутствием интенсивного электрического тока было отобрано 179 СТС с плотностью тока > 25 нА/м² вблизи нейтральной плоскости ($B_x < 5$ нТ). В 57 событиях наблюдается сильное неидеальное электрическое поле > 10 мВ/м. Для каждого обнаруженного события были посчитаны отношения энергий электрического и магнитного полей в частотном диапазоне наблюдаемого поля. Показано, что в 13 событиях наблюдаются электростатические поля. Также, именно данный тип полей является наиболее интенсивным: амплитуда достигает ~ 100 мВ/м. Демонстрируется, что обнаруженные электростатические волны имеют два

характерных типа: с частотами менее и более электронной циклотронной частоты $\omega_{c,e}$. Первый тип может представлять собой электростатическую моду свистовых волн, второй – циклотронные волны.

Обнаруженные ускоренные продольные пучки электронов и электростатические поля, наблюдаемые совместно с ними, вблизи нейтральной плоскости, могут свидетельствовать о присутствии множественных областей ускорения электронов. Такие области ускорения электронов будут располагаться вблизи нейтральной плоскости вдоль геомагнитного хвоста.

Работа авторов выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант РНФ № 23-12-00031).

НЕЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ КРОНАЛЬНЫХ ПЕТЕЛЬ КАК ПРЕДВЕСТНИКИ ВСПЫШЕК

Нечаева А.Б., Зимовец И.В., Шарыкин И.Н.

Институт космических исследований РАН

Солнечная вспышка – это внезапный, быстрый и сильный магнитно-энергетический выброс, характеризующийся усилением яркости излучения в широком спектре, наблюдаемого вблизи солнечных пятен. Как правило, солнечные вспышки классифицируются на А-, В-, С-, М- и Х-классы в соответствии с их максимальным потоком на длинах волн мягкого рентгеновского излучения (XRS) 1,0-8,0Å, измеренного спутником GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite). Хотя и существует общее согласие относительно причин вспышек, связанных с магнитным пересоединением в солнечной атмосфере, остается еще много нерешенных проблем, касающихся физики этого процесса. Солнечную вспышку можно разделить на три фазы относительно потока XRS GOES: предвспышечную, фазу нарастания потока от условного начала до максимума и фазу спада после максимума. Естественно, очень важно определять предвестники солнечных вспышек как для понимания самого процесса накопления и выделения энергии во вспышечных областях, так и для прогнозирования вспышек.

В данной работе в качестве одного из предвестников вспышек мы рассматриваем незатухающие колебания солнечных корональных петель, и их связь с потоком XRS GOES. В отличие от затухающих кинк-колебаний, возбуждаемых импульсными динамическими процессами, этот тип поперечных колебаний, по всей видимости, не связан с каким-либо внешним импульсным воздействием, таким как вспышка или выброс корональной массы, и не демонстрирует значительного затухания. Более того, амплитуда этих незатухающих колебаний обычно ниже, чем у затухающих, поэтому для их детектирования нужны дополнительные методы обработки изображений. При этом корональные петли можно рассматривать как прокси линий магнитного поля в активных областях Солнца. Таким образом, незатухающие колебания существуют вне зависимости от динамических триггеров, и изменения в характере их поведения можно рассматривать в контексте предвспышечной активности по перестройке магнитной конфигурации активной области. Мы представляем результаты предварительного анализа незатухающих колебаний петель в нескольких активных областях и их связи с вариациями потока рентгеновского излучения перед вспышками.

ВАРИАЦИИ ПЭС НА СТАНЦИИ "ГОНОЛУЛУ ВЫЗВАННЫЕ ЦУНАМИ ПОСЛЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ТОХОКУ 2011 Г.

Рябова С.А.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского РАН

Землетрясение, произошедшее 11 марта 2011 года восточнее японского острова Хонсю (с координатами эпицентра в океане $38,32^{\circ}$ с.ш., $142,37^{\circ}$ в.д.), имело магнитуду, равную 9,0. Это землетрясение вызвало разрушительное цунами, высота волн достигала 10-15 м (в некоторых местах до 20 м). Цунами было зарегистрировано Центром по предупреждению цунами приборами DART, установленными по всей акватории Тихого океана.

Цель настоящих исследований заключалась в определении ионосферного отклика на цунами. В качестве исходных данных использовались результаты радиочастотного зондирования с помощью GPS на станции HNLC (Гонолулу, $21,3033$ с.ш. $157,8645$ з.д.).

В ходе обработки и анализа данных, полученных посредством GPS, установлено, что волновые возмущения в полном электронном содержании опережают цунами приблизительно на 1 час, причем обнаруженные вариации ионосферы находятся в диапазоне от 10 до 20 минут; это соответствует диапазону внутренних гравитационных волн, а низкочастотная часть возмущения приходит раньше.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛИКА ИОНОСФЕРЫ НА МАГНИТНУЮ БУРЮ 26–28 ФЕВРАЛЯ 2023 Г.

Рябова С.А.

*Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского РАН
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

Отклик ионосферы на конкретную бурю в значительной степени зависит от последовательности и интенсивности воздействия различных факторов в ходе развития данного геомагнитного возмущения. Исследования ионосферных бурь, в том числе эффекта возмущений F2-слоя, очень важны с практической точки зрения, поскольку ионосферные возмущения прямо влияют на орбитальные характеристики спутников, приводят к ошибкам в работе системы глобального позиционирования и навигационных систем, к нарушениям КВ-радиосвязи.

В настоящем сообщении представлены результаты исследования отклика F2-области ионосферы на сильную магнитную бурю 26–28 февраля 2023 г. Магнитная буря началась 26 февраля примерно в 19:20–19:40 UT, продолжалась 27 февраля весь день и завершилась 28 февраля в 3:00 UT. В течение часа после прихода выбросов корональной массы уровень магнитной бури быстро изменился с G1 (незначительная) до G2 (умеренная). Пик магнитной бури пришелся на 27 февраля с 9:00 до 12:00 UT, G-индекс в это время составил три из пяти возможных (G3), что классифицируется как сильная магнитная буря. Сильная и продолжительная магнитная буря вызвала полярное сияние. Сияние наблюдалось в северных городах России, в Белоруссии, Канаде, северной Европе вплоть до Германии, а также в северных штатах США. В качестве исходных данных использовались данные вертикального зондирования ионосферы, размещенные на сайте Глобальной ионосферной радиообсерватории (GIRO).

ИНТЕРАКТИВНЫЙ СЕРВИС ГЕОЭФФЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Сапралиев М.Е., Михальев О.Н.

Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова

Данные для проекта Sun Gazers для построения границ корональных дыр загружаются из НЕК [1], обработанные алгоритмом Spatial Possibilistic Clustering Algorithm (SPoCA) [2] на основе изображений AIA/SDO (Solar Dynamics Observatory) 193Å. Линии коронального магнитного поля посредством модели поверхности источника потенциального поля (PFSS) рассчитываются на сервере лаборатории "Физика Солнца" с помощью пакета программ pfsspy [3].

Алгоритм пространственной вероятностной кластеризации (SPoCA), используемый для автоматического обнаружения корональных дыр, производит сегментацию EUV-изображений Солнца на области, названные здесь "классами соответствующие активным областям (AR), корональным дырам (CH) и спокойному солнцу (QS). SPoCA использует многоканальную неконтролируемую пространственно-ограниченную процедуру нечеткой кластеризации, в которой классы определяются минимизацией внутриклассовой дисперсии.

Для построения линий коронального магнитного поля используется модель поверхности источника потенциального поля (PFSS). Данные нижней границы для модели предоставлены синоптическими магнитограммами. Полнодисковые фотосферные магнитограммы с солнечного телескопа оперативных прогнозов (телескоп-магнитограф Кисловодской ГАС СТОП 3) используются для составления карт магнитного поля по всей поверхности Солнца. Эти карты используются в качестве нижних граничных данных модели PFSS. Модель PFSS включает в себя на своей верхней границе поверхность источника, где силовые линии поля направлены радиально. Это моделирует влияние на поле исходящего солнечного ветра.

Созданный нами проект Sun Gazers представляет собой базу геоэффективных данных, включая корональные дыры и линии коронального магнитного поля, и интерактивную трехмерную модель солнца, опубликованную на сайте лаборатории.

База данных корональных дыр и линий коронального магнитного поля позволяет фильтровать данные по запросу, интерактивная трехмерная модель опубликована на сайте лаборатории [4].

Данные, хранящиеся в базе, позволяют рассчитывать характеристики солнечного ветра и коронального выброса массы для постановки начальных условий в МГД-моделировании с дальнейшим прогнозированием воздействия на землю (K-Index).

На первом этапе проекта реализована часть данных, касающихся корональных дыр. На следующем этапе планируется создание базы данных эруптивных протуберанцев, получаемых с помощью солнечного патрульного телескопа Кисловодской ГАС.

Примечание: работа выполнена по госзаданию Минобрнауки РФ №075-03-2023-121/1 «Разработка новых наблюдательных и теоретических подходов в прогнозе космической погоды по данным наземных наблюдений»

Литература:

[1] Сайт солнечной и астрофизической лаборатории Lockheed Martin:
<https://www.lmsal.com/heksearch>

[2] The SPoCA-suite: Software for extraction, characterization, and tracking of active regions and coronal holes on EUV images, C. Verbeeck, V. Delouille, B. Mampaey, R. De Visscher (2014) "Astronomy&Astrophysics", 561, A29, doi.org/10.1051/0004-6361/201321243

[3] pfsspy: A Python package for potential field source surface modelling, D. Stansby, A. Yeates, S.T. Badman (2020) "Journal of Open Source Software 5(54), 2732, doi.org/10.21105/joss.02732

[4] Сайт лаборатории "Физика Солнца" – sw.kalmsu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРЫХ И УЗКИХ ДРЕЙФОВ ПЛАЗМЫ ОДНОВРЕМЕННО НАЗЕМНЫМИ И СПУТНИКОВЫМИ СРЕДСТВАМИ В СУБАВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЕ

Синеви́ч А.А.^{1,2}, Чернышов А.А.¹, Чугуни́н Д.В.¹,
Климе́нко М.В.³, Панче́нко В.А.², Яки́мова Г.А.³,
Могилевский М.М.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *ИЗМИРАН*

³ *КФ ИЗМИРАН, г. Калининград*

Поляризационный джет (PJ или SAID — SubAuroral Ion Drift) — явление субавроральной ионосферы, представляющее собой узкую полосу быстрого дрейфа ионов на запад на высотах F-слоя. Наиболее полное и глубокое понимание такого явления, как PJ/SAID, даст исследование с использованием сочетания одновременных наземных и спутниковых наблюдений субавроральной ионосферы, включая измерения с высокой пространственной частотой. В данной работе впервые использованы данные, полученные с помощью различных наземных и спутниковых средств, для изучения PJ/SAID во время усиления геомагнитной активности 18 марта 2018 г. в северном полушарии. Кроме того, с использованием спутников ГНСС (Глобальной Навигационной Спутниковой Системы) строятся локальные карты TEC (Total Electron Content), где также заметно присутствие PJ/SAID. Во время этого геомагнитного события зафиксировано такое явление, как STEVE (сильное увеличение скорости теплового излучения). Сравнение различных одновременных наземных и спутниковых измерений позволило более комплексно изучить PJ/SAID, подтвердить ранее известные свойства PJ/SAID, а также сравнить характеристики и поведение одного и того же PJ/SAID на разных высотах, широтах и долготах. Присутствие STEVE в рассматриваемом регионе подтверждает наличие сильного PJ/SAID.

Работа поддержана грантом РФФ (№ 23-22-00133).

ВЛИЯНИЕ Н-Р И Н-Н УПРУГИХ СТОЛКНОВЕНИЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖЗВЕЗДНЫХ АТОМОВ ВОДОРОДА В ГЕЛИОСФЕРНОМ УДАРНОМ СЛОЕ

Титова А.В.^{1,2}, Измодепов В.В.^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»*

Межзвездные атомы водорода могут проходить через гелиосферный ударный слой — область взаимодействия солнечного ветра с межзвездной средой — и взаимодействовать с протонами посредством перезарядки и упругих столкновений (Н-р столкновения). Также упругие столкновения происходят и между самими атомами (Н-Н столкновения). Если влияние перезарядки на распределение атомов, плазмы и структуру ударного слоя в целом изучено детально, то вопрос о необходимости включения упругих столкновений до сих пор остается открытым. Цель данной работы — оценить влияние упругих столкновений на функцию распределения межзвездных атомов водорода в гелиосферном ударном слое и видимые параметры: спектры поглощения и рассеянного излучения в линии Лайман-альфа.

Для достижения этой цели была разработана простая стационарная одномерная модель прохождения межзвездных атомов через ударный слой. В модели рассматривается плоский слой плазмы длиной L , где решается кинетическое уравнение Больцмана для атомов водорода с учетом перезарядки и упругих столкновений. Распределение протонов в слое считается максвелловским, а параметры зависят от расстояния и задаются на основе глобальной модели Izmodenov and Alexashov 2020. На внешней границе задается максвелловская функция распределения атомов водорода. Задача решена с помощью имитационного метода Монте-Карло. В итоге, были вычислены функция распределения атомов водорода и ее моменты на разных расстояниях.

Результаты показали, что учет Н-р упругих столкновений приводит к небольшим изменениям в функции распределения, в то время как при учете Н-Н столкновений различия возрастают. Разница в моментах распределения составляет менее 10% при Н-р столкновениях и менее 20% при Н-Н столкновениях. Также было установлено, что на спектры упругие столкновения влияния почти не оказывают.

ПРОВЕРКА СУЩЕСТВОВАНИЯ ОБОГАЩЁННОГО ГЕЛИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА ВНУТРИ МКВМ

Хохлачев А.А., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г.,
Рязанцева М.О., Рахманова Л.С.

Институт космических исследований РАН

Данная работа посвящена исследованию внутренней структуры межпланетных проявлений корональных выбросов масс МКВМ. Среди всех крупномасштабных явлений, которые можно идентифицировать в потоке солнечного ветра, МКВМ характеризуются наиболее высоким содержанием ионов гелия в среднем. Одной из причин такого различия может являться протекание в центральной области этих структур обогащённого гелием электрического тока, гипотеза о существовании которого была выдвинута в работе [1]. В нашей недавней работе [2] проводился статистический анализ поведения содержания гелия в МКВМ, в результате которого были получены некоторые подтверждения гипотезы. Задачей текущего исследования является проверка гипотезы с применением другой методики.

В ходе работы проводился анализ временного хода параметров плазмы и межпланетного магнитного поля для отдельных событий МКВМ на основе данных из базы OMNI и измерений космического аппарата WIND. При помощи метода минимума вариаций магнитного поля были определены моменты времени, когда космический аппарат приближался к токовому слою либо пересекал его. Сопоставление этих моментов с временными вариациями содержания гелия позволило выявить области вблизи токового слоя, в которых наблюдается повышенное содержание гелия. Существование внутри МКВМ подобных областей согласуется с гипотезой о протекании тока, обогащённого ионами гелия. При этом результаты анализа указывают на то, что внутренняя структура токового слоя более сложная, чем ожидалось.

Литература:

[1] Yermolaev Y.I. et al. Dynamics of large-scale solar-wind streams obtained by the double superposed epoch analysis. 4. Helium abundance. // Journal of Geophysical Research, 2020, 125(7).

[2] Khokhlachev A.A. et al. Helium Abundance Decrease in ICMEs in 23–24 Solar Cycles. // Universe, 2022, 8(11), 557.

ПРОГНОЗ ЦИКЛОВ РЯДА ЧИСЕЛ ВОЛЬФА МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ (РСА)

Шибаетев А.И.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

В рассматриваемой работе анализируется и прогнозируется солнечная активность, выраженная сглаженным по 13 месяцам ежемесячным рядом чисел Вольфа SSN (ряд брался с 8-го цикла по 24-ый включительно). В качестве инструмента исследования использовался метод главных компонент (РСА). Объектами по которым выделялись главные компоненты выступают циклы ряда SSN приведенные к средней длине в 133 „месяца“. Из-за хорошей степени корреляции между соседними значениями в циклах, РСА оказался эффективен и всего первой и второй главных компонент (РС1 и РС2) достаточно для хорошего приближения циклов (учитывается $> 90\%$ дисперсии данных). Сами компоненты (собственные вектора РСА) оказались интерпретируемые. Первая компонента РС1 является „добавкой“ к усредненному циклу солнечной активности, коэффициент при ней характеризует насколько „в среднем“ кривая данного цикла выше или ниже чем линия усредненного типичного цикл SSN. Вторая же компонента РС2 меняет степень асимметрии цикла, то есть коэффициент при ней характеризует соотношение длин ветвей роста и спада в цикле или, выражаясь по-другому, раньше достигается максимум в цикле или позже.

Мы наблюдаем высокую степень корреляции (> 0.9) между коэффициентами циклов при РС1 со средними значениями самих циклов, что согласуется с физическим смыслом самой первой главной компоненты. Корреляция коэффициентов при РС2 с коэффициентами асимметрии циклов составляет 0.4. При рассмотрении последовательности коэффициентов при РС1 и РС2 как временных рядов, можно заметить периодическую структуру, это позволяет спрогнозировать коэффициенты для текущего 25-го цикла. Воспользовавшись полученными результатами, получим прогноз для с25 всего лишь по двум коэффициентам.

ПРОГНОЗ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ

Якуба М.А., Заставная Е.Д.

ГБОУ "Воробьевы Горы"

На возникновение полярных сияний влияют события на Солнце, известные как солнечная активность (СА), они приводят к выбросу плазмы в сторону Земли.

Ученые выделяют 11 летний цикл СА, в этот период растет число солнечных пятен, соответственно повышается вероятность солнечной вспышки, которая сопровождается корональным выбросом массы (КВМ), поэтому логично предположить, что в этот период времени растет и вероятность возникновения магнитной бури на Земле и, соответственно, возникновение полярного сияния. Но КВМ связан не только со вспышками, иногда он возникает при ускорении солнечного ветра на корональных дырах (КД). КД также зависят от цикла СА, к минимуму СА число КД увеличивается, это может быть дополнительным источником будущих магнитных бурь.

Существует классификация солнечных пятен по магнитуде, таким образом мы можем отслеживать в каких пятнах скорее всего возникнет солнечная вспышка. Наблюдение этих проявлений СА не вызывает особых трудностей.

Но есть проблемы с их наблюдением, так КВМ отслеживать возможно только с помощью коронографов, находящихся на борту спутников STEREO-A и SOHO. У наблюдений с помощью коронографов есть существенный недостаток: перекрывая солнечный диск на несколько его радиусов, невозможно разглядеть раннюю эволюцию выброса, мы видим только его форму на развитой стадии.

Ученые решили отслеживать не только КВМ, а его «след» прямо на Солнце – корональные димминги. Корональные димминги - провалы в интенсивности в УФ-диапазоне, темные пятна, которые связаны с потерей вещества в короне во время выброса плазмы. Отслеживание их размера и яркости возможно благодаря разной позиции трех спутников: STEREO-A, STEREO-B и SDO. В итоге ученые могут на ранних стадиях оценить массу и скорость КВМ; эти параметры позволяют предсказать масштаб события и время его ожидаемых последствий на Земле.

Существует интересный метод прогноза по корональным диммингам. Для начала используется база данных SACTus SME (LASCO), ученые собирают информацию на нужные даты и сравнивают её с данными Solar Demon Dimming Database (SDO). Затем выбираются те данные, которые совпали в двух каталогах, они используются для прогноза КВМ и определения скорости солнечного ветра. Далее ученые рассчитывают площади КД, моделируют скорости фонового ветра с помощью EUV images (SDO), вычисляют входные параметры DBM модели и прогнозируют время и скорость прихода событий. Но на этом работа не заканчивается, необходимо сравнить полученный прогноз с данными объединенного каталога МКВМ. Найдя “промахи” и их причины, можно в дальнейшем улучшить прогноз. Данный способ прогноза достаточно сложен для использования, есть более “любительские” варианты, которыми мы пользовались.

Мы сделали 27-дневный прогноз геомагнитной активности, основанный на рекуррентных источниках СА (солнечных пятен, вспышек, корональных дыр) и 3-х дневный прогноз СА, который основан на текущем наблюдении СА + понимании того, что солнечная плазма доходит до Земли примерно за два дня. Совпадение этих двух прогнозов происходит довольно часто, поэтому чтобы оценить их эффективность необходимо использовать длинный ряд сравнений.