

21–23 АПРЕЛЯ 2025
МОСКВА

XXII КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
И ПРИКЛАДНЫЕ
КОСМИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ

НОЦ
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ИКИ РАН

ИКИ

ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

МЕХАНИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА

МОСКВА
2025

XXII КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

”Фундаментальные и прикладные космические исследования”

ИКИ РАН, Москва, 21–23 апреля 2025 г.

Сборник тезисов докладов

Под ред. Садовского А.М.

Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования» (<http://kmi.cosmos.ru>), посвящённая Дню космонавтики, традиционно проходит в апреле. В этом году Конференцию было решено провести с 21 по 23 апреля. В XXII Конференции (как это уже стало стандартом в последние годы) можно было участвовать как очно, так и онлайн.

В этом году на Конференцию поступило более 170 заявок со всех концов страны, что показывает актуальность космических исследований и растущий интерес к космосу. Следует отметить, что Конференция остаётся самым крупным научным мероприятием по космическим исследованиям среди молодёжи.

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

В Конференции принимают участие студенты, аспиранты и молодые учёные (до 35 лет), чья деятельность связана с космосом и космическими исследованиями. «Сборник тезисов Конференции молодых учёных» содержит тезисы, присланные участниками Конференции.

Редакционная коллегия: Бельведерский М.И., Евдокимова Д.Г., Кобец Д.А., Матюхин А.А.

Дизайн обложки: Давыдов В.М.

Компьютерная вёрстка: Сапунова О.В.

Оглавление

АСТРОФИЗИКА И РАДИОАСТРОНОМИЯ	4
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ	44
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ	85
КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ	116
КОСМОС В СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ	149
ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	161
ФИЗИКА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ	186
ЮНИОРЫ	207

АСТРОФИЗИКА И РАДИОАСТРОНОМИЯ



ЭВОЛЮЦИЯ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД В ШИРОКИХ МАЛОМАССИВНЫХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ

Афони́на М.Д.^{1,2}, Попов С.Б.²

¹ *Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова*

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

Точные астрометрические измерения с помощью спутника Gaia привели к открытию десятков широких двойных систем, состоящих из звезды, подобной Солнцу, и невидимого компонента. Последний может быть белым карликом, нейтронной звездой или черной дырой. Примеры таких систем можно найти в работах El-Badry et al. (2024); Sbarufatti et al. (2024). В нашей работе мы моделируем магнитовращательную эволюцию нейтронных звезд в широких маломассивных двойных системах с учетом эксцентриситета орбиты. Цель данной работы — вычислить, при каких параметрах нейтронные звезды в таких системах могут начать аккрецию вещества из звездного ветра компаньона, пока он все еще находится на Главной последовательности (примерно 10 миллиардов лет), поскольку потенциально в этом случае можно обнаружить электромагнитное излучение от компактного объекта.

Расчеты показывают, что нейтронные звезды с магнитным полем $B \lesssim 10^{12}$ Гс на круговых орбитах с большой полуосью $a \gtrsim 1$ а.е. не достигают стадии пропеллера, которая обычно предшествует стадии аккреции (arXiv:2409.00714). При достижении стадии пропеллера эволюция нейтронной звезды определяется эффективностью замедления вращения на этой стадии. Так, в зависимости от этой эффективности нейтронная звезда может начать аккрецировать звездный ветер или провести длительное время на стадии пропеллера.

Переход от стадии эжектора к стадии пропеллера происходит раньше в более эксцентричных системах (arXiv:2501.15918). Таким образом, увеличивается время, которое нейтронные звезды могут аккрецировать звездный ветер. В случае эффективного замедления вращения на стадии пропеллера нейтронная звезда на эксцентричной орбите с $e \gtrsim 0.6$ и стандартным магнитным полем $B = 10^{12}$ Гс может начать аккрецировать в течение нескольких миллиардов лет. Для нейтронных звезд с $B = 10^{13}$ Гс начало аккреции происходит раньше независимо от эксцентриситета орбиты. Как и в случае с круговыми орбитами, при низком темпе замедления вращения на стадии пропеллера нейтронная звезда может оставаться на этой стадии большую часть своей жизни.

ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ ЧАСТОТЫ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ В МАЛОМАССИВНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ СИСТЕМАХ

Бердюгина А.В.^{1,2}, Мереминский И.А.²

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Институт космических исследований РАН

В спектре мощности переменности маломассивных рентгеновских двойных наблюдаются квазипериодические осцилляции (КПО) разных типов. В статье [1] замечено, что у источника Swift J1727.8-1613 после выхода на «плато» частота КПО типа С колеблется вокруг некоторого центрального значения. В рамках существующих представлений [2] наблюдаемая частота КПО зависит от положения внутреннего края аккреционного диска. Таким образом, по изменению частоты КПО можно отслеживать изменения геометрии аккреционного потока, в том числе характерные времена таких изменений. Этому и посвящена данная работа.

Для того чтобы оценить количество измерений частоты КПО, необходимое для измерения характерного временного масштаба с заданной точностью, нами была реализована игрушечная модель случайных блужданий, при которых частица колеблется вокруг положения равновесия. По полученным из моделирования данным показано, что действительно возможно восстановить исходные параметры модели, однако для достижения высокой точности измерения характерного времени требуется большее число наблюдений. Требуется дальнейшая работа по анализу наблюдательных данных различных обсерваторий, чтобы получить возможно более качественную оценку.

Литература:

1. Mereminskiy I., Lutovinov A., Molkov S., Krivonos R., Semena A., Sazonov S., Tkachenko A., Sunyaev R. Hard X-rays and QPO in Swift J1727.8-1613: the rise and plateau of the 2023 outburst // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. - 2024. - Vol. 531. - Hard X-rays and QPO in Swift J1727.8-1613. - No. 4. - P. 4893-4899.

2. Ingram A.R., Motta S.E. A review of quasi-periodic oscillations from black hole X-ray binaries: Observation and theory // New Astronomy Reviews. - 2019. - Vol. 85. - A review of quasi-periodic oscillations from black hole X-ray binaries. - P. 101524.

ВЫДЕЛЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННО-СВЯЗАННЫХ ПОДСТРУКТУР В ПОЛЕ СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК

Васильева П.С.

НИУ Московский физико-технический институт

Выделение подструктур в скоплениях галактик - важная задача для определения динамического состояния скопления (скопление находится в спокойном состоянии или претерпевает слияние), а также для уточнения характеристик отдельных сливающихся компонент. В данной работе используется информация о положениях галактик на небе и об их лучевых скоростях для того, чтобы выделить возможные гравитационно-связанные подструктуры в скоплении. В качестве примера было выбрано хорошо изученное скопление «Пуля».

Одним из классических методов идентификации подструктур в скоплениях является метод, представленный в работе [1], который использует информацию о лучевых скоростях галактик и их взаимном расположении для определения, насколько сильно локальная средняя скорость и локальная дисперсия скоростей в выделенной (визуально) подструктуре отличается от глобальных характеристик. В работе [2] этот метод, названный «DS+», был усовершенствован и протестирован на модельных скоплениях галактик, полученных из космологических симуляций [4]. Авторы работы [2] показали, что при помощи DS+ в модельных скоплениях около 80% всех галактик, являющихся частью гравитационно-связанных групп, были верно идентифицированы как принадлежащие подструктурам, а не основному скоплению. Также по крайней мере 60% галактик, отнесенных к подструктурам, принадлежат реальным группам [2]. Было показано, что такие физические свойства обнаруженных подструктур, как средняя скорость, дисперсия скоростей и звездная масса, хорошо коррелируют с характеристиками реальных гравитационно-связанных групп, хотя и со значительным разбросом [2].

Мы взяли данные для скопления Пуля (положение галактик относительно центра скопления и лучевые скорости галактик), проанализировали распределение положения галактик и выделили гравитационно-связанные подструктуры на основе этих данных методом DS+.

В скоплении галактик Пуля всего выделяется 10 гравитационно-связанных подструктур. Однако в рентгеновском диапазоне и по данным слабого линзирования однозначно можно говорить только о наличии двух компонент [5]. Тем не менее, маломассивные группы могут быть реальными гравитационно-связанными структурами и не давать при этом существенный вклад в рентгеновское излучение от всего скопления и в карту распределения массы.

Для того, чтобы протестировать надежность детектируемых алгоритмом DS+ групп, мы провели тестирование метода на синтетических данных. Для этого мы смоделировали, как бы выглядели положения и лучевые скорости галактик, если бы было всего 2 скопления (скопления сильно отличаются, особенно в плоскости x-y). На данном наборе данных метод выделяет больше двух компонент, что говорит о том, что алгоритм нуждается в доработке и улучшении. Однако «перемешивание» галактик, то есть приписывание галактик одного модельного скопления другому, не происходит.

В дальнейшем планируем работать над улучшением метода.

В последствии метод DS+ будет применен к скоплению галактик CL0238.3+2005 для выделения в нем подструктур. В недавней работе [3] были представлены результаты рентгеновских наблюдений массивного скопления CL0238.3+2005, которое, как и скопление Пуля, находится в стадии слияния. Однако для CL0238 недоступны измерения спектроскопических красных смещений, имеются только фотометрические оценки. Тем не менее, метод DS+ будет применен к данному скоплению и будут выделены подструктуры.

Литература:

1. Dressler A., Shectman S. A. Evidence for Substructure in Rich Clusters of Galaxies from Radial-Velocity Measurements // *Astronomical Journal*. 1988. V. 95 (p. 985). DOI: 10.1086/114694.

2. Jose A. Benavides [et al.]. DS+: a method for the identification of cluster substructures // *A&A*. 2023. V. 669 (A147). DOI: 10.1051/0004-6361/202245422.

3. Lyskova N. [et al.]. The massive galaxy cluster CL0238.3+2005 (the Peanut cluster) at $z = 0.42$: A merger just after pericenter passage? // *A&A*. 2025. V. 693 (A55). DOI: 10.1051/0004-6361/202452212.

4. IllustrisTNG [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tng-project.org/> (дата обращения: 21.10.2022). 5. Douglas Clowe [et al.]. A Direct Empirical Proof of the Existence of Dark Matter // *ApJ*. 2006. V. 648 (L109). DOI: 10.1086/508162.

МАССЫ И КРАСНЫЕ СМЕЩЕНИЯ КАТАЛОГА СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК СОМРАСТ

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

¹ *НИУ Высшая школа экономики*

² *Институт космических исследований РАН*

Скопления галактик, являясь наиболее массивными гравитационно-связанными объектами, представляют собой лаборатории для изучения окружения скоплений галактик и играют ключевую роль для космологических тестов. Мы проанализировали параметры нейросетевого каталога СЗ источников ComPAST (Воскресенская+2024), и подтвердили 75% скоплений, используя карты параметра комптонизации ACT+Planck и Planck, а также фотометрические красные смещения на основе DeCALS DR9 и WISE обзоров. Красные смещения определены для 57%, включая 187 новых объектов. Массы измерены для 49% скоплений, из них 83 - впервые. Каталог вдвое увеличивает полноту массивных скоплений на $z > 1$ и включает 6 новых скоплений галактик с $M > 5.7 \cdot 10^{14} M_{\odot}$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ И ЖЁСТКОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ ПО ДАННЫМ ПРИБОРА HEND

Евдокимов М.А.^{1,2}, Митрофанов И.Г.¹, Головин В.Д.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

В докладе обсуждается зависимость спектральной жёсткости гамма-всплесков от их продолжительности на основе данных измерений прибора HEND, установленного на борту космического аппарата Mars Odyssey [1]. Регистрация космического гамма-излучения осуществляется внешним и внутренним сцинтилляторами детектора энергичных нейтронов в диапазонах гамма-лучей 50-300 кэВ и 0.5-5МэВ, соответственно. Благодаря непрерывной записи для гамма-лучей и работе совместно с другими приборами входящими в межпланетную сеть GCN, HEND вносит значимый вклад в задачу по локализации источников гамма-всплесков [2].

Проведён анализ временных характеристик гамма-всплесков, включая параметры продолжительности T90, T50 и эмиссионного времени, а также разработаны методики оценки спектральной жёсткости. Построены зависимости спектральной жёсткости от временных параметров для выборки ярких всплесков, произошедших в период с 2002 по 2024 год. Выполнено сравнение спектральной жёсткости гамма-излучения с оценками других приборов для наиболее интересных событий, включая уникальный гамма-всплеск GRB080319B, оптическое послесвечение которого было видно невооружённым взглядом.

Литература:

1. Mitrofanov, I. G., Sanin, A. B., Boynton, W. V., Evans, L. G., Litvak, M. L., Kozyrev, A. S., Malakhov, A. V., Mokrousov, M. I., Sagdeev, R. Z., Shevchenko, V. V., Shvetsov, V. N., Starr, R., Timoshenko, G. N., Tretyakov, V. I. Global mapping of Mars by HEND neutron detector onboard Mars Odyssey // *Icarus*, 2022, 374, 114772. DOI:10.1016/j.icarus.2021.114772

2. Barthelmy, S. D., Butterworth, P., Cline, T. L., Gehrels, N., Fishman, G. J., Kouveliotou, C., Meegan, C. A., Paciesas, W. S., Pendleton, G. N. The Gamma-Ray Burst Coordinates Network (GCN) // *Astrophysics and Space Science*, 2000, 231, 235–238.

DOI:10.1023/A:1015261504004

ОГРАНИЧЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ЧАСТИЦ АННИГИЛИРУЮЩЕЙ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ КЭВ-ГО ДИАПАЗОНА МАСС ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИИ NUSTAR ПОСЛЕ 11 ЛЕТ РАБОТЫ

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

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

³ *Институт ядерных исследований РАН*

⁴ *НИУ Московский физико-технический институт*

Одной из фундаментальных проблем современной физики остается идентификация холодной темной материи (ХТМ) — загадочной субстанции, формирующей гравитационный каркас Вселенной и составляющей около 25% от её массы. В отличие от барионной материи, ХТМ не взаимодействует с электромагнитным излучением, что делает её обнаружение исключительно сложной задачей.

На данный момент существует множество различных кандидатов на роль частиц темной материи. К примеру:

а) Стерильные нейтрино - тяжелые аналоги обычных нейтрино, способные распадаться с излучением рентгеновских фотонов;

б) Аксионы - ультралегкие частицы, предсказанные для решения проблемы CP-инвариантности в квантовой хромодинамике;

в) WIMP (Weakly Interacting Massive Particles) — слабо взаимодействующие массивные частицы, включая суперсимметричные модели.

Особый интерес представляют сценарии аннигиляции или распада частиц ХТМ, в результате которых могут рождаться высокоэнергетические фотоны. Например, аннигиляция WIMP-подобных частиц в галактическом гало Млечного Пути теоретически должна генерировать монохроматическое рентгеновское излучение — уникальный спектральный сигнал, отличающийся от фоновых процессов. Этот прогнозируемый сигнал, однако, имеет крайне низкую интенсивность, что требует длительных наблюдений и высокочувствительных инструментов.

В исследовании представлен анализ данных, собранных за 11 лет работы рентгеновской обсерваторией NuSTAR (Nuclear Spectroscopic Telescope Array), специализирующейся на регистрации жесткого рентгеновского излучения (3–20 кэВ). Уникальность NuSTAR заключается в широком поле зрения для фотонов боковой засветки, что позволяет эффективно сканировать диффузное излучение галактического гало. Полученные ограничения являются самыми сильными из имеющихся.

СЛОЖНАЯ МОРФОЛОГИЯ ИСТОЧНИКА TXS 0506+056 — ГРАВИТАЦИОННО ЛИНЗИРОВАННЫЙ ДЖЕТ?

Исламов С.С.

НИУ Московский физико-технический институт

Источник TXS 0506+056 является одним из представителей объектов класса блазар — это активное галактическое ядро (АЯГ) с джетом (релятивистской струей), направленным почти точно на нас. Излучение объекта TXS 0506+056 не только наблюдается во всем диапазоне электромагнитных волн, но он также является первым объектом, ассоциированным с космическим источником нейтрино сверхвысоких энергий [1].

Начиная с 2016 года джет демонстрирует в радиодиапазоне очень сложную морфологию [2]. Компоненты джета выстроились в дугообразную структуру, что совершенно нетипично для блазаров, однако является характерной сигнатурой такого явления, как сильное гравитационное линзирование. Была поставлена задача — исследовать, как меняется морфология джета вследствие сильного гравитационного линзирования (ГЛ) джета на черной дыре (ЧД), лежащей между источником и наблюдателем. Как обсуждается в работе [2], наиболее вероятным кандидатом на роль линзы является именно сверхмассивная ЧД, так как оптические данные свидетельствуют об отсутствии галактики или иной звездной структуры на луче зрения между наблюдателем и источником TXS 0506+056. По порядку величины оценить связь между массой линзы M и расстоянием от нее до источника D_{ds} можно, если предположить, что наблюдаемая дуга является частью кольца Эйнштейна — Хвольсона, тогда [2]:

$$M[M_{\odot}] \sim 10^{11}/D_{ds}[\text{кпк}].$$

В таком случае, если линза имеет массу $M \sim 10^{10}M_{\odot}$, то расстояние между линзой и источником $D_{ds} \sim 10$ кпк.

Обычно уравнение линзы решается в приближении плоской линзы и удаленного от нее плоского источника. В рассматриваемом нами случае это приближение не применимо: джет блазара направлен почти точно на нас, а расстояние между активным ядром галактики и линзирующей ЧД сопоставимо с возможной длиной самого джета, т.е. необходимо учитывать, что расстояние между линзой и источником уменьшается вплоть до 0, когда эффект гравитационного линзирования пропадает.

Решение уравнения линзы для точечного источника и точечной линзы задается выражением [3]:

$$\theta_{\pm} = \frac{\beta \pm \sqrt{\beta^2 + 4\theta_E^2}}{2},$$

где β — угол смещения источника от оси, проходящей через наблюдателя и линзу, θ_{\pm} — углы, под которым видно смещения изображений от той же оси, θ_E — угол Эйнштейна. С помощью этого выражения положения изображений в векторном виде относительно центра линзы задаются:

$$\mathbf{I}_{\pm} = \mathbf{r}\theta_{\pm}/\beta$$

где \mathbf{r} — радиус-вектор источника, а \mathbf{I}_{\pm} — положения самих изображений. Анализ этого выражения в предельном случае $\theta_E \rightarrow 0$ при малых β дает понять, что форма изображения существенно отличается от привычного случая. Когда джет распространяется

в сторону линзы, по-прежнему наблюдаются дугообразные изображения, как и в случае «классического» линзирования, однако радиус этих дуг оказывается меньше, что связано с уменьшением расстояния между линзой и джетом. Вторым важным отличием является наличие «излома», который появляется вследствие пересечения джетом плоскости линзы. В момент пересечения гравитационное линзирование пропадает, и мы видим нелинзированный джет, распространяющийся прямолинейно.

Литература:

1. IceCube Collaboration [et al.]. Multimessenger observations of a flaring blazar coincident with high-energy neutrino IceCube-170922A // *Science*. 2018. V. 361(6398): eaat1378. DOI: 10.1126/science.aat1378.
2. Britzen [et al.]. The nuclear jet and core of TXS 0506+056 could be gravitationally lensed // *A&A*. 2025. In press. DOI: 10.5281/zenodo.14724643.
3. Schneider P., Ehlers J., Falco E. E. *Gravitational Lenses*. — New York: Springer, 1992. P. 112. DOI: 10.1007/978-3-662-03758-4.

О ПРОСТРАНСТВЕННОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЯРКИХ ГОЛУБЫХ ПЕРЕМЕННЫХ В ГАЛАКТИКЕ М33

Калдыбекова А.Б.², Костенков А.Е.¹, Фабрика С.Н.¹,
Федорченко С.А.³, Соловьева Ю.Н.¹, Дедов Е.О.¹,
Винокуров А.С.¹, Саркисян А.Н.¹, Шолухова О.Н.¹

¹ *Специальная астрофизическая обсерватория РАН*

² *Институт космических исследований РАН*

³ *University of Zurich*

На сегодняшний день яркие голубые переменные звёзды (Luminous Blue Variables, LBV) - одна из малочисленных групп массивных звёзд, которые выделяются своим высоким значением отношения светимости к массе и характеризуются спектральной и фотометрической переменностью в широком диапазоне (от $\approx 0.5^m$ до $\approx 6^m$). Типичные периоды переменности составляют от месяцев до нескольких лет. До сих пор неясно, являются ли LBV короткой стадией жизни массивных одиночных звёзд или же результатом эволюции двойных систем. Чтобы опровергнуть или подтвердить одну из теорий, необходимо изучать звёздное окружение LBV.

Целью данной работы является исследование окружения ярких голубых переменных в галактике М33. Галактика выбрана по причине большого количества известных в ней LBV и LBV кандидатов, необходимого пространственного расположения, а также наличия фотометрических данных высокого качества.

Фотометрический каталог LGGs предоставляет средства для создания выборки ярких массивных звёзд и анализа пространственного распределения LBV. В данной работе на основании него, а также использования эволюционных треков Женевской группы и моделей Куруца определены фотометрические критерии для получения выборки массивных звёзд, которые потенциально могут являться прародителями в яркие голубые переменные звёзды. С помощью программы SExtractor был произведён поиск туманностей H_α в галактике М33. Это позволило добавить ещё 85 массивных голубых звёзд, вероятно, покраснённых, и улучшить выборку скоплений молодых звёзд путём анализа корреляции местоположения полученных H II областей с массивными звёздами, выбранными в соответствии с фотометрическими критериями, определёнными авторами в этой работе.

ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК СТОХАСТИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ ПОТОКА АККРЕЦИРУЮЩИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ПУЛЬСАРОВ СВЯЗАННЫЕ С КОРРЕЛЯЦИЕЙ ИХ ПОЛНОЙ СВЕТИМОСТИ И ФОРМЫ ПРОФИЛЕЙ ИМПУЛЬСА

Канаев А.Ю.^{1,2}, Семена А.Н.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

Массивные рентгеновские двойные с Ве звездами (BeXRBs) состоят из звезды класса Ве и компактного релятивистского объекта — обычно нейтронной звезды (NS). В данных системах вещество из аккреционного диска захватывается сильным магнитным полем NS и падает на магнитные полюса, что приводит к энерговыделению и наблюдаемым вариациям потока излучения. При вращении NS модулирует поток, что затрудняет изучение вариации, связанной с аккрецией.

В данной работе предложены методы изучения модуляции потока излучения на основе корреляции вида профиля пульса и оценки полной светимости по данным ART-XC наблюдений EXO2030+375. Продемонстрировано наличие корреляции формы профиля импульса и среднего темпа счета. Предложены несколько моделей фитирования данной зависимости, а также проведены оценки оптимальности моделей. Получены спектры мощности с учетом модуляции.

ПОИСК ЗАКИСИ АЗОТА В МЕЖЗВЕЗДНОМ ЛЬДУ

**Картеева В.М., Накибов Р.С., Петрашкевич И.В.,
Ожиганов М.Э., Медведев М.Г., Васюнин А.И.**

Уральский федеральный университет

Присутствие молекул в ледяных мантиях на поверхности пылевых частиц в дозвездных облаках определяется путем обработки наблюдательных данных инфракрасных телескопов. Пики поглощения присваиваются колебаниям молекул в различных молекулярных окружениях. Для определения состава необходимы лабораторные спектры сравнения.

Данная работа посвящена поиску закиси азота в межзвездном льду. На установке ISEAge (Ice Spectroscopy Experimental Aggregate) получены ИК-спектры твердой фазы закиси азота как в чистом виде, так и в окружении наиболее распространенных в межзвездных льдах молекул: H_2O , CO , CO_2 , NH_3 , CH_4O и CH_3OH при температуре 10 К. Исследованные бинарные смеси имели соотношение 1:20, где закись азота присутствовала в меньшем количестве. Кроме того, получены спектры смесей с тремя и более компонентами. Основные пики закиси азота в различных окружениях находятся в диапазонах $2250\text{-}2229.6\text{ см}^{-1}$ (4.44-4.48 мкм) и $1297.4\text{-}1284.5\text{ см}^{-1}$ (7.70-7.79 мкм).

На данный момент в литературе отсутствуют данные аналогов межзвездного льда закиси азота в различных молекулярных окружениях. Нахождение закиси азота в чистом виде на поверхности частиц маловероятно. Если на поверхности частиц и есть N_2O , то он должен быть окружен молекулами находящимися в изобилии.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 23-12-00315.

БЫСТРЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ПУЛЬСА LMC X-4 ВО ВРЕМЯ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Кляйн Ю.С.^{1,2}, Семена А.Н.¹, Мереминский И.А.¹,
Штыковский А.Е.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

LMC X-4 — это массивная рентгеновская двойная система с высокой постоянной светимостью пульсара $(3 - 4) \cdot 10^{38}$ эрг/с, что соответствует или немного превышает Эддингтоновский предел для нейтронной звезды. Главная особенность этой системы — наличие аperiодической вспышечной активности. Вспышки проявляются как эпизодические события сверхэддингтоновской светимости, длящиеся до нескольких килосекунд.

Было замечено, что во время вспышек происходят резкие изменения профиля импульса, что делает эту систему уникальной и должно свидетельствовать о значительных изменениях либо в процессе энерговыделения, либо в темпе аккреции либо в структуре аккреционной колонки. В нашей работе мы проводим наиболее подробный анализ, уделяя особое внимание описанию фазового решения — зависимости фазового сдвига от времени для различных моделей ускорения пульсара. Наша главная цель — продемонстрировать, как происходят фазовые сдвиги, и на основе измерений их амплитуд проверить модель изменения диаграммы направленности и другие возможные модели. В нашей работе мы пытаемся найти точное решение изменения периода пульсара и фазы его вращения, предполагая стабильность профилей импульсов на относительно коротких временных масштабах (несколько периодов), и допуская их изменения на больших временах.

Для описания фазы нужно знать период в каждый момент времени наблюдения. Его поиск нельзя произвести сделать с помощью свертки эпох из-за наличия фазовых скачков. Вместо этого мы применяем двухмерные диаграммы яркости в пространстве время-фаза и ищем модель изменения периода, которая наилучшим образом описывает профили пульса в сегментах между скачками фаз. Нами были использованы две модели ускорения — модель Гоша и Лемба и модель постоянного ускорения. Было показано, что на масштабах отдельного наблюдения (порядка суток) обе модели сравнительно хорошо описывают изменение периода, однако на больших масштабах — от наблюдения к наблюдению модель Гоша и Лемба не работает, поэтому в дальнейшей работе мы использовали более простую модель постоянного ускорения.

Нами было разработано несколько методов точного измерения периода, его производной, положений и амплитуд фазовых скачков на основе стандартного метода сложения эпох и методов максимального правдоподобия. При использовании метода сложения эпох профиль пульса усредняется за все наблюдение однако его амплитуда пульсации варьируется. В методе максимального правдоподобия форма профиля добывается из данных в близкой окрестности к каждому измерению на основе получаемого фазового решения.

Оба метода дают близкие значения параметров фазового решения — амплитуда скачков ≈ 0.38 , их длительность ≈ 180 секунд.

Нами было показано, что фазовые скачки происходят гладко — максимум излучения постепенно перемещается по фазе за приблизительно 10 периодов вращения.

Скачки фазы предшествуют увеличению амплитуды пульсаций, которое, в свою очередь, предшествует росту потока во время вспышек.

Это указывает на то, что вспышки инициируются на поверхности нейтронной звезды, что может свидетельствовать о перестройке магнитного поля.

ПОИСК ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ НЕТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОСТАТКЕ СВЕРХНОВОЙ PUPPIS A

Коньшев М.Д.¹, Семена А.Н.², Кривонос Р.А.²

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Институт космических исследований РАН

Остаток сверхновой Puppis A представляет собой крупную, асимметричную и яркую рентгеновскую структуру в созвездии Корма (Puppis). Высокое угловое разрешение позволяет изучать его морфологические особенности и возможные механизмы излучения.

В данной работе проведён анализ рентгеновского спектра Puppis A с целью выявления возможного жесткого нетеплового излучения. Основной вклад в излучение вносит тепловая компонента, однако была предпринята попытка поиска нетеплового вклада, включающая анализ спектральных характеристик в разных энергетических диапазонах. По результатам анализа верхний предел потока жесткого излучения в диапазоне 4 - 12 кэВ составил $1,66 \times 10^{-4} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Ранее в работе Krivonos et al. (2022) было показано, что морфология остатка в жестком рентгеновском диапазоне, зафиксированная телескопом ART-XC, отличается от его структуры в мягком рентгене, представленной в исследовании Mayer et al. (2022). Это может свидетельствовать о наличии локального источника нетеплового излучения. Для проверки этой гипотезы проведён пространственно разрешённый анализ, включающий построение модели ожидаемого распределения поверхностной яркости в жестком рентгеновском диапазоне. При этом использовались результаты работы Mayer et al. (2022), а именно оценки температуры плазмы в остатке, поверхностной яркости и относительных концентраций различных элементов. На основе этих данных проведён поиск областей с избытком излучения в данных ART-XC.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕЙТРИНО В СВЕРХНОВОЙ ДО ОБЛАСТИ НЕПРОЗРАЧНОСТИ

Коптяева Е.А.^{1,2}, Добрынина А.А.¹, Огнев И.С.¹

¹ Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова

² Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны имени Маршала Советского Союза Л.А. Говорова (ЯВВУ ПВО)

Рассмотрены линейное и гауссоподобное приближения для углового распределения нейтрино в сверхновой с коллапсом центральной части. Показано, что до области непрозрачности может быть использовано гауссоподобное распределение, так как оно имеет большую точность, чем линейное. Получено приближение для параметра используемого углового распределения, который определяется радиусом нейтриносферы и положением ударной волны.

ОСОБЕННОСТИ УСКОРЕНИЯ ФЕРМИ В ОБРАТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛНАХ ОСТАТКОВ СВЕРХНОВЫХ

Кропотина Ю.А.¹, Шишкина Д.А.^{1,2}, Быков А.М.¹

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе

² СПбАУ им Ж.И. Алферова

Вопрос о возможности ускорения Ферми в обратных ударных волнах остатков сверхновых представляет большой интерес для современной астрофизики, поскольку состав вещества эжекты, термализуемой обратной ударной волной, значительно отличается от солнечного состава. Таким образом, в случае эффективного ускорения ими ионов обратные ударные волны могут обогащать состав галактических космических лучей элементами тяжелее водорода и гелия. Эффективность ускорения Ферми точнее всего описывается в рамках кинетического моделирования. Однако для модели требуется знать параметры обратной ударной волны, в частности - химический и зарядовый состав, альвеновское и звуковое числа Маха, отношение теплового давления к магнитному, которые точно не известны. Тем не менее, современные наблюдательные данные и численные модели позволяют сделать разумные предположения о значении этих величин.

В данной работе на основании наблюдательных данных из работы Laming&Temim (2020) мы оценили химический и зарядовый состав холодной эжекты остатка сверхновой Cas A и провели гибридное кинетическое моделирование ударной волны с таким составом. Мы показываем, что инжекция в процесс ускорения Ферми ионов с меньшим отношением заряда к массе не только протекает эффективнее, но и подавляет инжекцию более легких элементов. Для подавления достаточно 10% (по массе) примеси тяжелого слабо заряженного иона, которая приводит к раскачке вблизи фронта ударной волны более длинноволновых неустойчивостей, уширению фронта и росту пороговой энергии инжекции в процесс ускорения Ферми для более легких элементов. Можно провести аналогию между эффектом затрудненной инжекции более легких ионов в присутствии более тяжелых и хорошо известной проблемы инжекции тепловых электронов, ларморовский радиус которых слишком мал для пересечения фронта ударной волны.

ПРОФИЛЬ РЕНТГЕНОВСКОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЯРКОСТИ УСРЕДНЁННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК ПО ДАННЫМ СИМУЛЯЦИЙ MAGNETICUM

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*

Радиальные профили плотности горячего газа в скоплениях галактик, как ожидается, после правильного масштабирования должны быть приблизительно универсальными. Для уменьшения погрешности, вносимой индивидуальными особенностями отдельных скоплений, можно объединить их данные и рассмотреть их усреднённый профиль, что также позволит расширить радиальный диапазон детектирования рентгеновского излучения. Для выборки из массивных скоплений галактик из космологических симуляций Magneticum получены изображения скоплений в диапазоне 0.3 – 2.3 кэВ, которые были перемасштабированы и объединены в одно усреднённое изображение. Полученный по нему профиль рентгеновской поверхностной яркости хорошо согласуется до радиуса R200m с усреднённым профилем скоплений из обзора всего неба телескопом SRG/eROSITA.

ЭФФЕКТЫ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ГЕНЕРАЦИИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В АККРЕЦИОННЫХ ДИСКАХ ВОКРУГ ЧЕРНЫХ ДЫР

Лисицин Д.Д.^{1,2}, Шакура Н.И.²

¹ Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ

² Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова

Современная астрофизика объясняет наблюдаемые параметры аккреции аккреционных дисков при помощи турбулентности. Турбулентность значительно увеличивает эффективную вязкость внутри диска, за счет чего увеличивается темп аккреции, а темп аккреции приближенно пропорционален светимости диска. В контексте аккреции на чёрные дыры существует проблема генерации турбулентности. Считается, что турбулентность возникает, когда бесконечно малые возмущения возрастают настолько, что начинают влиять на макроскопическую динамику. Но аккреционный диск без магнитного поля с кеплеровским профилем угловой частоты (профиль свободного вращения вокруг точечной массы) устойчив относительно бесконечно малых возмущений. В связи с этим существует проблема возникновения турбулентности, механизм которого до конца не выяснен.

В данной работе используется динамика с учетом общей теории относительности вблизи внутреннего края диска — радиуса последней устойчивой орбиты [1]. Использован критерий числа Тейлора, похожий на критерий числа Ричардсона, предложенный Зельдовичем [2], чтобы выяснить энергетическую возможность развития турбулентности. Получено, что в отличие от кеплеровского профиля угловой скорости, в аккреционном диске возможно развитие неустойчивости в диапазоне радиусов от $3r_g$ до $5r_g$.

Литература:

1. Shakura, N.I.; Lipunova, G.V. Logarithmic potential for the gravitational field of Schwarzschild black holes // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2018, №480(3). p. 4273-4277
2. Zeldovich, Y.B. On the friction of fluids between rotating cylinders // Proceedings of the Royal Society A. 1981, №374. p. 299-312

АНАЛИЗ АРХИВНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ СПЕКТРОВ СИЛЬНОПЕРЕМЕННЫХ АЯГ СРГ/ЕРОЗИТЫ ИЗ ВЫБОРКИ МЕДВЕДЕВА И ДР. 2021

Лучинская А.А.

*Институт космических исследований РАН
НИУ Московский физико-технический институт*

Работа посвящена изучению Активных Ядер Галактик (АЯГ) с высокой переменностью рентгеновского излучения на основе архивных данных. Исследуемый список из 49 объектов взят из статьи П.С. Медведева и др. (20 сентября 2023), составленной по данным СРГ/eROSITA. В ходе обзоров телескопа обнаружено более 2 млн источников, из которых 1325 показали изменение рентгеновского потока более чем в 10 раз, а 635 идентифицированы как АЯГ или их кандидаты. Для 49 объектов удалось зафиксировать низкое состояние потока, что позволило построить кривые блеска и спектры.

Для 18 объектов найдены данные других рентгеновских телескопов, из них используются данные Swift (16 объектов), XMM-Newton (3 объекта) и Chandra (5 объектов). Построены степенные модели трех видов: с фиксированным поглощением ($ztbabs * zpowerlaw$); не фиксированным поглощением ($ztbabs * zpowerlaw$); а также модель ($tbabs * ztbabs * powerlaw$), у которой фиксировано поглощение в $tbabs$ и не фиксировано в $ztbabs$. Найдены потоки в диапазонах 0.3-2.2 кэВ и 2-10 кэВ, и потоки в диапазонах измерения телескопов. Вычислена светимость, построены графики полученных степенных зависимостей и кривые блеска.

Построенные по данным Swift степенные модели показывают у большинства объектов совпадающие в пределах ошибки наклоны с представленными наклонами в статье П.С. Медведева и др. Но для объектов под номерами 3, 33, 43, 45 и 47 получены наклоны меньше, чем у П.С. Медведева и др.

У данных XMM-Newton степенные модели показывают совпадающие в пределах ошибки наклоны с представленными наклонами в статье П.С. Медведева и др. для объектов под номерами 1 и 40. Но также было найдено одно наблюдение для объекта 40 с полученным наклоном больше, чем в статье П.С. Медведева и др. Также наклон больше для объекта 49.

Степенные модели по данным Chandra показывают совпадающие в пределах ошибки наклоны с представленными наклонами в статье П.С. Медведева и др. для объектов под номерами 34 и 47. Но для объекта 49 наклон больше, а для объектов 7 и 40 полученный наклон меньше, чем в статье П.С. Медведева и др.

Таким образом, данная работа может помочь в изучении АЯГ с высокой переменностью и дать представление об их эволюции.

V520 AND – НОВАЯ СИМБИОТИЧЕСКАЯ ЗВЕЗДА С ФЛИККЕР-ЭФФЕКТОМ

Масленникова Н.А.^{1,2}, Татарников А.М.^{1,2},
Татарникова А.А.¹

¹ Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ

² Физический факультет МГУ

Симбиотические звезды – двойные системы, состоящие из красного гиганта и горячего компонента. На данный момент известно около 300 объектов, относящихся к данному классу, что значительно меньше теоретических оценок $1200 - 4 \cdot 10^5$.

В работе Akras (2023) на основе анализа различных каталогов были выделены кандидаты в симбиотические звезды. В докладе представлены результаты анализа спектральных и фотометрических наблюдений одного из кандидатов из этого списка – долгопериодической переменной V520 And, которая оказалась симбиотической звездой. В спектрах низкого разрешения были обнаружены эмиссионные линии H I, He I, Fe II, [O III], [Ne III] и He II. Эмиссионный спектр V520 And сильно переменный, в сентябре 2023 г. в нем наблюдалось большое число линий, которые исчезли из спектра в июне 2024 г., а затем вновь появились в феврале 2025 г. Спектр высокого разрешения ($R = 25000$), полученный с новым спектрографом КГО, показал двугорбую форму линии $H\alpha$ и наличие абсорбционного компонента у нее. Также в ходе фотометрического мониторинга 14.10.2023 был обнаружен фликкер-эффект в полосе В с амплитудой 0.08 mag. Спектральный мониторинг показал наличие фликкер-эффекта в линиях $H\alpha$, $H\beta$ и He I. В работе были оценены параметры компонентов системы: холодный компонент – красный гигант спектрального класса М6, $L = 1400 - 2200 L_{\odot}$, $T_{eff} = 3200K$ и $R = 120 - 155R_{\odot}$, горячий компонент имеет эффективную температуру $\sim 50000 K$. Показано также, что в системе присутствует аккреционный диск с $L < 10L_{\odot}$.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАММА-ПОЛЯРИМЕТРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ

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*

При регистрации гамма-излучения особую сложность и интерес представляет измерение поляризации. Принцип регистрации линейной поляризации гамма-излучения основан на анизотропии комптоновского рассеяния. Это свойство используется при разработке поляриметров, представляющих собой сегментированные сцинтилляционные детекторы. Измерение поляризации гамма-всплесков может предоставить уникальную информацию о механизме излучения этих явлений. В работе выполнено моделирование регистрации гамма-всплеска GRB 221009A с помощью сегментированного гамма-спектрометра. Моделирование проведено методом Монте-Карло с помощью языка Python и инструмента Geant4. В предположении, что всплеск был линейно поляризован в гамма-диапазоне, исследуется возможность регистрации его поляризации с помощью предложенной модели поляриметра.

ГЛУБОКОЕ ПОЛЕ EUDS: СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЯРКИХ ОБЪЕКТОВ И КВАНТИЛЬ-КВАНТИЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТУСКЛОЙ ВЫБОРКИ

Мухин А.А.^{1,2}, Кривонос Р.А.², Гильфанов М.Р.^{2,3},
Медведев П.С.², Сазонов С.Ю.², Сюняев Р.А.^{2,3,4}

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Институт космических исследований РАН

³ Институт астрофизики Общества им. Макса Планка, Гархинг, Германия

⁴ Институт перспективных исследований, Принстон, США

Глубокие обзоры неба в рентгеновском диапазоне – ключевой способ изучения популяций активных ядер галактик (АЯГ) и отслеживания их космологической эволюции, источник информации о физической природе Космического Рентгеновского Фона.

Поле Ultra Deep Survey (UDS) – глубочайшая область наблюдения UKIRT Infrared Deep Sky Survey (UKIDSS), проведенного в ближнем ИК диапазоне, суммарным покрытием в 0.8 кв. град. В 2019 году это поле было также исследовано во время калибровочной фазы Calibration and Performance Verification (Cal-PV) рентгеновского телескопа eРОЗИТА на борту обсерватории Спектр-РГ в рамках наблюдения eРОЗИТА UDS (eUDS). По результатам этого наблюдения в поле за 150 кс было обнаружено 647 рентгеновских источников.

В данной работе продолжается исследование рентгеновских источников поля eUDS, представляются результаты спектрального анализа и базовая астрофизическая классификация обнаруженных источников.

Перед началом спектрального анализа была проведена корреляция объектов с каталогом Gaia DR3 для поиска объектов галактической природы. Объекты без обнаруженных отождествлений в пределах 98%-ошибок на положение рентгеновского источника считаются объектами внегалактической природы, для объектов с отождествлениями внутри 98%-ошибок оценивается значимость собственного движения. Объекты со значимыми собственным движением или параллаксом считаются галактическими активными в рентгене звездами, остальные объекты считаются внегалактическими. В результате из 647 объектов посредством фильтрации выделено 49 галактических объектов и 598 внегалактических.

Спектральный анализ проводился двумя разными методами для двух подвыборок объектов. Для «яркой» подвыборки с числом зарегистрированных событий > 150 (63 объекта) проводился индивидуальный анализ спектров: для галактических объектов (5 объектов в «яркой» подвыборке) спектры хорошо описываются тепловыми моделями, характерными для звезд, для внегалактических объектов (всего 58 объектов) 47 объектов хорошо описываются простой моделью «галактические межзвездное поглощение + степенной закон» с типичными для мало поглощенных АЯГ фотонным индексом (Γ) 1.5-2.0. Среди оставшихся 11 объектов: 1 объект хорошо описывается нетипично мягким степенным законом ($\Gamma = 2.5 \pm 0.4$), 2 объекта описываются нетипично жестким степенным законом ($\Gamma < 1.0$), и 8 объектов не могут быть хорошо описаны только простым степенным законом. Во всех 8 спектрах наблюдается систематический избыток на 0.5-1.0 кэВ, хорошо описываемый феноменологически тепловым чернотельным спектром с температурой 0.1-0.4 кэВ.

Для «тусклой» подвыборки с числом событий < 150 (584 объекта) проведение прямого спектрального анализа затруднено, поэтому для характеристики их спектральных свойств использовался метод квантиль-квантильного анализа. Эта форма анализа позволяет из списков событий для отдельного объекта извлечь набор характеристических метрик (квантиль-квантильная диаграмма) спектральной формы, основанных на значении квантилей, например, 25%, 50%, 75%. Эти характеристические метрики сопоставляются с набором модельных квантильных характеристик-трафаретов, сгенерированных на основе известных откликов телескопа и заданной физической модели. Это позволяет получить базовую информацию о спектральных свойствах объекта без прямого анализа их спектров. В данной работе используется подход, аналогичный описанному в работе. В качестве модельных трафаретов использованы простой степенной закон с фотонным индексом Γ в диапазоне от 0.5 до 3.5 и поглощением межзвездной среды с колонками поглощения в диапазоне NH от 10^{19} до 10^{23} атомов на $см^2$ и модель излучения плазмы АРЕС с температурами в диапазоне 0.1-5.0 кэВ и поглощением межзвездной среды с колонками поглощения от 10^{19} до 10^{22} атомов на $см^2$. Для валидации корректного описания спектральной формы была построена квантиль-квантильная диаграмма «яркой» подвыборки. Полученные значения соответствуют ожидаемым положениям на диаграмме с соответствующими моделями. Из квантиль-квантильной диаграммы объекты «тусклой» подвыборки выделены в 2 категории в зависимости от положения: описываемые тепловой моделью и описываемые степенным законом.

По результатам работы для ярких объектов поля из анализа индивидуальных наблюдений получены базовые спектральные характеристики, для тусклых объектов получены характеристические квантильные метрики и присвоены соответствующие спектральные классы.

Это исследование основано на наблюдениях телескопа eРОЗИТА на борту обсерватории SRG. Обсерватория SRG изготовлена Роскосмосом в интересах Российской академии наук в лице Института космических исследований (ИКИ) в рамках Российской федеральной научной программы с участием Германского центра авиации и космонавтики (DLR). Рентгеновский телескоп SRG/eРОЗИТА изготовлен консорциумом германских институтов во главе с Институтом внеземной астрофизики Общества им. Макса Планка (MPE) при поддержке DLR. Космический аппарат SRG спроектирован, изготовлен, запущен и управляется НПО им. Лавочкина и его субподрядчиками. Прием научных данных осуществляется комплексом антенн дальней космической связи в Медвежьих озерах, Уссурийске и Байконуре и финансируется Роскосмосом. Используемые в настоящей работе данные телескопа eРОЗИТА обработаны с помощью программного обеспечения eSASS, разработанного германским консорциумом eРОЗИТА и программного обеспечения для обработки и анализа данных, разработанного российским консорциумом телескопа eРОЗИТА.

ИЗУЧЕНИЕ МЕЖЗВЕЗДНОГО МЕТАНА: ДАННЫЕ JWST И ЭКСПЕРИМЕНТЫ ISEAGE

Накибов Р.С., Картеева В.М., Петрашкевич И.В.,
Ожиганов М.Э., Медведев М.Г., Васюнин А.И.

Уральский федеральный университет

Метан является одной из наиболее распространенных и надежно обнаруженных молекул в твердом виде в ледяной мантии на поверхности пылевых частиц в космосе. Из анализа инфракрасных спектров, получаемых от дозвездных объектов, в пересчете на водяной лед твердого метана содержится около 3%, однако метан важен в качестве прекурсора для более сложных углеродистых молекул для химии межзвездной среды и может являться биосигнатурой для поиска жизни на экзопланетах.

Данные космической обсерватории James Webb Space Telescope представляют инфракрасные спектры более высокого качества по сравнению с телескопами-предшественниками, что позволяет исследовать тонкие особенности полос поглощения молекул межзвездной среды. Новые данные представляют вызов для имеющихся в литературе лабораторных спектров. В связи с нехваткой данных на установке Ice Spectroscopy Experimental Aggregate (ISEAge) нами были получены спектры сравнения аналогов метанового межзвездного льда. Это уже позволило улучшить описание полосы поглощения метана на 7.7 мкм в объекте IRAS 23385+6053. В докладе будут представлены данные JWST, описанные с использованием новых лабораторных данных ISEAge.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 23-12-00315

УЧЁТ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ АНАЛИЗЕ РЕНТГЕНОВСКИХ СПЕКТРОВ ОСТАТКОВ СВЕРХНОВЫХ

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

За ударными волнами, например, в остатках сверхновых и скоплениях галактик, образуются области плазмы в неравновесном состоянии, где температуры лёгких и тяжёлых компонент отличаются, а ионизационный баланс не соответствует ожидаемому при наблюдаемой температуре. Формируемое в этих областях рентгеновское излучение может нести в себе ценную информацию как о параметрах ударных волн и окружающей среды, так и характере релаксационных процессов в плазме.

В работе представлено применение разработанного спектрального инструмента к задаче поиска закономерностей в неравновесных рентгеновских спектрах. Сопоставляются спектральные модели подобные ‘*vtnei*’ и учитывающие пространственную конфигурацию области в одномерном и трёхмерных случаях. А также анализируется возможность извлечения информации из таких спектральных особенностей, как, например, уширение линий или отношение их интенсивностей, в случае наблюдения области с использованием ПЗС-матричных рентгеновских телескопов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЗВЕЗДНОГО ДИСКА МЛЕЧНОГО ПУТИ В РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧАХ ПО ДАННЫМ ТЕЛЕСКОПА ART-XC ИМ. ПАВЛИНСКОГО ОБСЕРВАТОРИИ СРГ

Незабудкин В.О.^{1,2}, Кривонос Р.А.², команда ART-XC²

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Институт космических исследований РАН

Центральный Звездный Диск (ЦЗД) вместе с Центральным Звездным Скоплением (ЦЗС) и сверхмассивной черной дырой Стрелец А* формируют центральную область Млечного Пути. В 2006 году был произведен анализ излучения рентгеновского фона Галактики в диапазоне 3–20 кэВ, который кардинально изменил представление о его происхождении (Revnivtsev, 2006). В этой работе была получена линейная связь светимости и звездной массы для хребта Галактики (более масштабной структуры Галактики, чем ЦЗД), а также описан процесс формирования интегрального рентгеновского излучения аккрецирующими белыми карликами.

В нашей работе рассматривается рентгеновское излучение ЦЗД в диапазоне 4–12 кэВ, которое было получено телескопом ART-XC им. Павлинского обсерватории Спектр-РГ (СРГ). Целью исследования является построение первой модели рентгеновского излучения ЦЗД и определение его средней удельной рентгеновской светимости на единицу звездной массы. Это позволит изучить свойства ЦЗД в общей картине излучения хребта Галактики и свойств звездного населения окрестности Солнца, на расстоянии нескольких сотен пк, что позволит дополнить теорию формирования рентгеновского фона Галактики в ее непосредственном центре.

В ходе работы была выполнена процедура пространственного моделирования, полная модель которой включала в себя следующие компоненты: яркие точечные источники с их ФРТИ, фон частиц, модель хребта Галактики, модель ЦЗД, а также молекулярные облака и центральное звездное скопление.

В результате проведенного анализа была построена первая рентгеновская модель ЦЗД в диапазоне 4–12 кэВ. Используя полный интеграл модели в единицах потока ($\text{эрг}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{см}^{-2}$), расстояние до центра Галактики и массу ЦЗД (Launhardt, 2002) $M_{\text{ЦЗД}} = 1.4 \times 10^9 M_{\odot}$, было получено предварительное значение средней удельной рентгеновской светимости ЦЗД на единицу звездной массы $L_{4-12}/M = (3.8 \pm 0.1) \times 10^{27-1} M_{\odot}^{-1}$.

СВЕРХНОВЫЕ ТИПА Ia В ГАЛАКТИКАХ С АКТИВНЫМИ ЯДРАМИ И БЕЗ

Новиков С.К.¹, Мереминский И.А.²

¹ *НИУ Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

Сверхновые типа Ia (SN Ia), возникающие при термоядерном разрушении белых карликов в двойных системах, играют ключевую роль в космологии, в частности для определения расстояний. Частота таких событий в галактике определяется в основном её историей звездообразования, на которую, в свою очередь, может повлиять активность галактического ядра.

Современные компилятивные каталоги, такие как GLADE+, содержат информацию о большинстве галактик в локальной Вселенной, а обзоры всего неба в ближнем ИК (WISE) и рентгеновских диапазонах (СРГ) позволяют надежно обнаруживать АЯГ среди них. В сочетании с результатами проектов по поиску сверхновых в обзорах ASAS-SN и ZTF, все эти данные позволяют проверить зависит ли частота вспышек SN Ia в галактике от наличия в ней АЯГ.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРИОДА РЕНТГЕНОВСКОГО ПУЛЬСАРА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БОРТОВОМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Новикова А.А.¹, Бунтов М.В.², Заева М.А.¹

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

² *Институт космических исследований РАН*

Наблюдение за рентгеновскими пульсарами может предоставить полезную навигационную информацию космическим аппаратам. Пульсары обладают стабильным, предсказуемым поведением и могут быть однозначно идентифицированы по форме профиля сигнала, поэтому они могут рассматриваться в качестве основы для создания навигационной системы в дальнем космическом пространстве [1]. Ключевыми методами навигации при помощи пульсаров являются оценка периода вращения и восстановление профиля импульса. Для выполнения такого алгоритма потребуется использование радиационно-стойких микропроцессоров, которые обеспечивали бы исполнение точных вычислений при экстремальных условиях в космосе.

Целью данной работы является определение периода периодических сигналов от рентгеновских пульсаров из ограниченного количества данных, распределенных во времени, используя радиационно стойкий микропроцессор типа 1892ВМ12АТ.

В настоящее время для оценки периода вращения рентгеновского пульсара применяется сложение эпох. При сложении эпох данные сначала складываются по модулю пробного периода и затем объединяются, а для проверки восстановленного профиля используется критерий Пирсона. К преимуществам данного метода относятся более высокая чувствительность к несинусоидальным формам импульсов, характерным для рентгеновских пульсаров. Кроме того, сложение эпох обеспечивает простой подход к обработке пробелов, которые регулярно появляются в спутниковых данных [2].

В данной работе представлены результаты разработки программно-алгоритмического обеспечения для отечественного радиационно-стойкого микропроцессора 1892ВМ12АТ, которое позволяет провести оценку периода рентгеновского пульсара, при помощи метода сложения эпох. В качестве исходных данных для проверки алгоритма взята серия времен прибытия фотонов (события) от хорошо известного рентгеновского пульсара Crab, зарегистрированных телескопом ART-XC орбитальной обсерватории СПЕКТР-РГ [3,4].

Проведена оценка периода рентгеновского пульсара Crab в интервале [0.03382, 0.03383] с с шагом 1×10^{-8} с на микропроцессоре, используя 47 тыс. событий. Найденный период составил $P_1 = 0.03382533$ с, что близко к теоретическому значению $P_0 = 0.03382535$ с. Для визуальной оценки построенного периодического профиля период должен быть найден минимум с точностью до 6-го знака, и, полученное значение соответствует этому критерию.

Также проведена оценка среднего времени выполнения одного программного цикла $\tau_1 = 1.14$ с, который включает в себя сложение эпох, вычисление ожидаемого значения для критерия Пирсона, тест Пирсона и инкрементирование периода. Представлены результаты оптимизации алгоритма, путем использования в вычислениях исключительно целых чисел, что позволило сократить среднее время выполнения одного цикла в 1,6

раз, $\tau_1 = 0.72$ с, период при этом составил $P_2 = 0.03382523$ с. В работе также рассмотрен вопрос влияния фонового шума на оценку периода.

Разработанный алгоритм показал свою работоспособность и может рассматриваться для использования в перспективном космическом эксперименте по рентгеновской навигации.

Литература:

1. Навигация по рентгеновским пульсарам в космическом пространстве / М. В. Сажин, В. Е. Жаров, В. К. Милюков (и др.) // ВМУ. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. – 2018. – №2. – С.18-30.

2. On searches for pulsed emission with application to four globular cluster X-ray sources / Denis Leahy, W. Darbro, Ronald F. Elsner (etc) // The Astrophysical Journal. – 1983. – № 266. – V.1. – 12 pp.

3. Космическая обсерватория СПЕКТР-РГ: ее телескопы и первые научные результаты / Р. Сюняев, В. Арефьев, В. Бабышкин (и др.) // Письма в астрономический журнал. – 2022. – Т.48. – №5. – С.301-356.

4. Телескоп ART-XC на борту обсерватории СРГ / М. Павлинский, А. Ткаченко, В. Левин (и др.) // Письма в астрономический журнал. – 2022. – Т.48. – №5. – С.357-390.

КРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЗВЕЗД В ПРИБЛИЖЕНИИ ОДНОРОДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ

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

¹ *Институт космических исследований РАН, Москва*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

³ *Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ*

Рассмотрены модели звёзд в приближении однородного распределения плотности. При рассмотрении однородных звезд был использован вариационный метод, при котором звезда принималась изоэнтропической. При решении уравнения равновесия были получены равновесные кривые $M(\rho)$, максимум которых соответствует состоянию, когда звезда теряет свою устойчивость. Расчеты были проведены с учетом малых эффектов общей теории относительности. Результаты работы определяют зависимости критической плотности и энтропии от массы, $\rho_{cr}(M)$ и $S_{cr}(M)$ соответственно, в диапазоне масс от $2M_{\odot}$ до сверхмассивных звезд. Уравнение состояния, учитывающее релятивистское вырождение электронов и позитронов, рождение пар и фотонов, β -процессы и ядерные реакции в смеси Fe56, He4, p, n, для температур $10^9 < T < 10^{10} K$ и плотностей $10^5 < \rho < 10^{10} \text{ г/см}^3$, взято из работы Имшенника и Надежина (1965). При меньших плотностях и температурах единственным элементом является железо, и расчет термодинамических функций был произведен по формулам из работы Бисноватого-Когана Г.С. и Каждана Я.М. (1967). Критические параметры энтропии и массы звёзд, полученные в данной работе, отличаются от более точных значений не более чем на 20%.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОСТИ И ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗВЕЗД ТИПА γ CAS

Рыспаева Е.Б.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

В статье Smith et al. (2012) были исследованы рентгеновские кривые блеска звезды загадочного подкласса аналогов γ Cas HD 110432 (BZ Cru, B0.5IVpe) и обнаружены 1615 "вспышечных событий" или "быстрых вспышек" («flare-like events»), длительностью до полутора минут. Такие вспышки авторы связывали либо с пересоединением силовых линий магнитных полей декреционного диска и звезды, либо с аккрецией на гипотетический вырожденный компонент, предположительно белый карлик. В настоящей работе усовершенствован метод поиска аналогичных быстрых вспышек в рентгеновских кривых блеска звезд, описанный в работе Рыспаева, 2024 (в сборнике трудов КМУ-2024). Из наблюдений на спутнике «XMM-Newton» 7 звезд аналогов γ Cas извлечены кривые блеска с шагом 1 с и выполнен поиск быстрых вспышек. Методом CLEAN найдены периодические компоненты вариаций рентгеновского блеска. Из кривых блеска удалены найденные компоненты и выявлено от десятков до нескольких сотен быстрых вспышек длительностью до 10 секунд. Проанализированы профили, мощности и числа вспышек в разных энергетических диапазонах. Показано, что больше всего быстрых вспышек происходит на энергиях 1-4 кэВ и в указанном интервале вспышки самые энергетически мощные. Высказана гипотеза о том, что обнаруженные Smith et al. (2012) «быстрые вспышки» характерны для всех звезд аналогов γ Cas и оба возможных механизма генерации вспышек (аккреция вещества диска на вырожденный компонент и пересоединение силовых линий магнитных полей декреционного диска и звезды) эффективны для звезд типа γ Cas. Приведены аргументы в пользу данного предположения.

ЗАЩИТА ДЕТЕКТОРОВ НА ТЕЛЕСКОПЕ СПЕКТР-РГН

Садовский О.А., Семена А.Н.

Институт космических исследований РАН

Разрабатываемый телескоп Спектр-РГН направлен на изучение искривления пространства-времени вблизи компактных релятивистских объектов, состояния материи при плотностях, во много раз превышающих ядерные, поведения плазмы при температурах в десятки и сотни миллионов градусов, изучение механизмов формирования рентгеновского излучения вблизи компактных объектов. Эти задачи могут быть решены при помощи наблюдения релятивистских компактных объектов рентгеновским телескопом с большой собирающей площадью и высоким временным разрешением. Рабочий диапазон телескопа - рентгеновский спектр, детекторы направлены на фиксацию фотонов с энергиями от 1 до 8 кэВ, располагаться он будет в точке Лагранжа - L2. В качестве детекторов, подходящих под необходимые задачи, были выбраны кремниевые дрейфовые детекторы. Такие детекторы подвержены воздействию медленных протонов и электронов, вследствие чего со временем их характеристики ухудшаются. Кроме того, на определенных энергиях, это приводит к появлению сигнала, неотличимого от фотонного, что приводит к фону.

В точке Лагранжа L2 присутствует анизотропный поток медленных частиц, источником которого являются космические лучи и солнечный ветер. По опыту работы телескопа eROSITA, достаточно ограничиться энергиями до 1 МэВ, так как вклад более высоких энергий пренебрежимо мал.

Для решения проблемы, в соответствии с моделью телескопа, было принято воспользоваться постоянными магнитами, которые располагаются на установке "Spider" ("Паук"), представляющей из себя спицы, идущие от центра к краю. Постоянные магниты устанавливаются в конфигурации Халберта, позволяющей создавать сильное магнитное поле в плоскости, перпендикулярной спицам, быстро падающее с расстоянием ($\sim \frac{1}{r^6}$). Быстро убывающее поле необходимо для избежания возможного воздействия на прочее оборудование телескопа.

Для определения конкретной конфигурации и силы магнитов необходимо были проведены симуляции, которые показали, насколько эффективно электроны и протоны, фокусируемые зеркальной системой отклоняются от рентгеновских детекторов. Для моделирования данной системы магнитов и частиц магниты разбивались на небольшие составляющие, а пространство разбивалось на размеры достаточные для точной интерполяции (падение поля между точками не более чем в два раза). Для заданного спектра протонов и электронов в диапазоне от 0.1 до 1 МэВ, сфокусированных зеркальной системой, производилась симуляция их рассеивания различными конфигурациями магнитов и определение распределения точек прохождения их траекторий через плоскость детектора. Для нахождения траектории и конечного положения частицы был использован численный метод решения дифференциальных уравнений - метод Рунге-Кутты 4 порядка с шагом $dt = 1e - 11$, что позволяет оценить погрешность как $O(dt^4)$.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АКТИВНЫХ ЯДЕР ГАЛАКТИК, НАЙДЕННЫХ В ХОДЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ОБЗОРА ВСЕГО НЕБА ТЕЛЕСКОПОМ ART-XC ИМ. М.Н. ПАВЛИНСКОГО ОБСЕРВАТОРИИ СРГ

Соколов А.Д., Сазонов С.Ю., Усков Г.С.

Институт космических исследований РАН

Представлен анализ источников, обнаруженных в ходе первых пяти обзоров всего неба телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории СРГ (каталог ARTSS1-5, Sazonov et al. 2024). В ходе обзора, который проводился в рентгеновском диапазоне энергий 4-12 кэВ с декабря 2019 по март 2022 г., было найдено 1545 источника, из которых 911 (715, если не учитывать блазары) являются подтвержденными или вероятными активными ядрами галактик (АЯГ).

АЯГ вызывают большой интерес как с точки зрения исследования аккреции вещества на релятивистские компактные объекты, так и в космологическом контексте изучения эволюции галактик и роста сверхмассивных черных дыр (СМЧД) во Вселенной. Выборка АЯГ из каталога ARTSS1-5 находится на небольших красных смещениях ($z < 0.3$) и представляет значительную ценность для исследования роста СМЧД в последние несколько миллиардов лет.

Мы провели кросс-корреляцию каталога ARTSS1-5 с каталогами жестких (выше 20 кэВ) рентгеновских обзоров всего неба обсерваторий Swift и INTEGRAL, для каких источников уже существуют данные по свойствам АЯГ (красное смещение z , колонковая плотность NH и наклон степенной компоненты спектра Γ). Кроме того была проведена кросс-корреляция с каталогом eRASS1, составленным по данным обзора половины неба телескопом eROSITA обсерватории СРГ в диапазоне энергий 0.2-2.3 кэВ. В результате была собрана статистика по соотношению потоков в мягком и жестком рентгеновских диапазонах и проведено сравнение полученных результатов с модельными спектрами АЯГ.

Еще для примерно трёхсот АЯГ из каталога ARTSS1-5 мы провели спектральный анализ на основе имеющихся в открытом доступе данных телескопа XRT обсерватории Swift. Это позволило определить для них колонки поглощения и наклоны спектров. На основе всей полученной информации сделаны предварительные выводы о распределении физических характеристик АЯГ из каталога ARTSS1-5.

ЭВОЛЮЦИЯ СПЕКТРА МАСС ПЕРВИЧНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР ВО ФРИДМАНОВСКОЙ ВСЕЛЕННОЙ

Солнышко Л.А.^{1,2,3}, Михеева Е.В.²

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Астрокосмический центр Физического института Академии Наук

³ Институт космических исследований РАН

Первичные черные дыры (ПЧД) - это черные дыры, которые могли образоваться вскоре после рождения Вселенной. В отличие от астрофизических черных дыр, которые образуются в результате гравитационного коллапса массивной звезды, первичные черные дыры рождаются в результате коллапса неоднородности плотности Вселенной.

В работе изучена эволюция спектра масс первичных черных дыр (ПЧД) в расширяющейся Вселенной под действием аккреции Бонди-Хойла-Литтлтона и излучения Хокинга. Для данной работы изначальный спектр масс первичных черных дыр был принят плоским (не зависящим от массы). Показано, что аккреция окружающего черную дыру вещества не оказывает существенного влияния на рост массы черных дыр. При помощи моделирования было выявлено, что к моменту окончания эпохи радиационного доминирования испарились все первичные черные дыры массой вплоть до $M = 2 \times 10^9$ г. Также в данной работе было подтверждено критическое значение масс для первичных черных дыр, при котором они испаряются в наше время. Оно составляет $M_{cr} = 1.4 \times 10^{14}$ г, если учитывать только излучение фотонов.

ТСР J07222683+6220548 - НОВАЯ СИСТЕМА ТИПА AM CVn, ОБНАРУЖЕННАЯ ОБЗОРОМ NMW

Тарасенков А.Н.^{1,2}, Соколовский К.В.³, Додин А.В.¹, Чернышенко О.⁴, Короткий С.А.⁴, Страхов И.А.¹, Бурлак М.А.¹, Нароенков С.А.²

¹ Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ

² Институт астрономии РАН

³ Университет Иллинойса в Урбана-Шампейн

⁴ Астроферма Астроверты

На новой обсерватории ИНАСАН на плато Шатджатмаз развернут проект по классификации и исследованию оптических транзиентов, связанных с переменными звездами, открытых в рамках обзора New Milky Way (NMW). Обнаруженные в рамках обзора NMW транзиенты наблюдаются в автоматическом режиме на 50-см телескопе Астросиб RC500 до угасания. На основе полученных кривых блеска производится их классификация и исследование.

В настоящем докладе рассматривается объект ТСР J07222683+6220548, обнаруженный 2025-01-20.9416 UTC как оптический транзиент 12.8^m . Наблюдения, проведенные на роботизированных телескопах ИНАСАН показали, что он обладает необычной кривой блеска, нехарактерной для карликовых новых звезд. В течении недели блеск J0722 падал медленно и монотонно, затем объект резко угас до 19^m . Обнаружены возможные малоамплитудные колебания блеска с периодом около 47 минут.

На основе этого был сделан вывод, что J0722 принадлежит к редкому классу катаклизмических переменных звезд типа AM CVn, представляющих из себя тесные двойные системы из двух белых карликов. Спектры J0722, полученные на КГО ГАИШ МГУ, подтверждают этот вывод - в них отсутствуют линии водорода, но видны линии гелия.

Фотометрический мониторинг объекта позволил обнаружить повторную вспышку (ребрайтинг), имеющую сходную с первой вспышкой форму.

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЦИКЛОТРОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ПУЛЬСАРА 4U 0115+63 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕГО СВЕТИМОСТИ

Ушакова Е.А.^{1,2}, Мереминский И.А.²

¹ *Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики*

² *Институт космических исследований РАН*

Во время вспышек второго типа светимость рентгеновского пульсара 4U 0115+63 может достигать 10^{38} эрг/с, что соответствует закритическому режиму аккреции (Mushtukov et al. 2018). Также в эти моменты у источника наблюдаются квази-периодические осцилляции с частотой 1-2 мГц (Heindl et al. 1999, Berger et al. 2023). Величина рентгеновского потока при этом может меняться в 2 раза. Наличие такой переменности позволяет нам проследить за изменениями спектра при увеличении темпа аккреции на небольших масштабах времени.

В данной работе исследовалась зависимость положения циклотронных линий в спектре пульсара от его светимости. Анализ был проведён по данным обсерватории NuSTAR, которая запечатлела две вспышки второго типа у нашего источника: в 2015 и 2023 годах. В работе показано, что энергия циклотронных линий демонстрирует небольшой рост с увеличением светимости, что частично согласуется с предыдущими работами по данной теме.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВСПЫШКИ 2021 ГОДА РЕНТГЕНОВСКОЙ НОВОЙ 4U 1543-47

Хадарцев А.О.

Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ

Маломассивные рентгеновские двойные (ММРД) – двойные системы, в которых один из компонентов – компактный объект (черная дыра или нейтронная звезда), а второй – звезда позднего спектрального класса. В ММРД, зачастую, происходит аккреция с звезды позднего спектрального класса на компактный объект вещество с которой аккрецирует на компактный объект: звезда заполняет свою полость Роша, вещество с нее начинает перетекать, но так как оно обладает ненулевой момент импульса, образует аккреционный диск вокруг компактного объекта. Аккреция вещества из аккреционного диска связана с диманимическим трением в диске. Считается, что трение можно описать турбулентной вязкостью. В литературе (Shakura & Sunyaev 1973) была предложена модель α -диска, в которой введен безразмерный параметр α , характеризующий скорость передачи момента импульса из внутренних слоев внешним. Параметр α является одним из основных параметров, влияющих на параметры вспышки. Система 4U 1543-47, которая является ММРД, доменстрирует вспышки примерно каждые 10 лет. В докладе рассматривается последняя вспышка этой системы, произошедшая в 2021 году, и отличающаяся большей яркостью по сравнению в предыдущими вспышками. В работе была проведена процедура фитирования кривой блеска с помощью программного кода. В основе этой процедуры лежит моделирование, реализованное через пакет `freddi` (Malanchev & Lipunova 2016). Этот пакет использовался в качестве функции, параметры которой были подбирались в процессе фитирования. По результатам фитирования были найдены параметры системы (в том числе коэффициент α), описывающие вспышку 2021 года, а также получены зависимости темпа аккреции, радиуса аккреционного диска, эффективную температуру на внешней границе диска и температуру облучения на внешней границе диска от времени при заданных параметрах.

ВОЗМОЖНОСТЬ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ НАДТЕПЛОВЫХ ЧАСТИЦ, УСКОРЕННЫХ ОБРАТНЫМИ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ В ОСТАТКАХ СВЕРХНОВЫХ

Шишкина Д.А.^{1,2}, Кропотина Ю.А.², Быков А.М.²

¹ *Академический университет им. Ж.И. Алфёрова*

² *ФТИ им. А.Ф. Иоффе*

Вспышки сверхновых – одни из наиболее энергичных процессов во Вселенной. Вспышка характеризуется резким повышением светимости в результате мощного выброса вещества звезды-предшественника. По мере расширения объема выброшенного вещества светимость плавно ослабевает. Выброшенное вещество называется эжектой и распространяется со скоростью порядка 10^4 км/с. В результате выброса формируется головная ударная волна, движущаяся наружу от центра вспышки в околосредную среду. Фронт головной ударной волны примерно совпадает с границей остатка сверхновой. Сначала остаток свободно расширяется, постепенно поглощая околосредное вещество. По достижении достаточно большой массы поглощенного вещества, оно начинает тормозить эжекту. Формируется обратная ударная волна. Считается, что головная ударная волна достаточно эффективно ускоряет протоны и альфа-частицы межзвездной среды (до 15% кинетической энергии потока может переходить в надтепловые частицы). Теоретически, можно предполагать, что обратная ударная волна должна похожим образом ускорять тяжелые частицы эжекты. Однако прямых подтверждений наличия тяжелых ионов, ускоренных обратной ударной волной, пока не обнаружено. В данной работе мы исследуем возможность обнаружения линий гамма-излучения от тяжелых ускоренных ядер, которые могут сталкиваться с протонами околосредной среды с возбуждением ядерных уровней энергии. Время жизни ядра в возбужденном состоянии составляет несколько пикосекунд, затем ядро возвращается в основное состояние с испусканием гамма фотона (1-10 МэВ) преимущественно вдоль направления движения частицы.

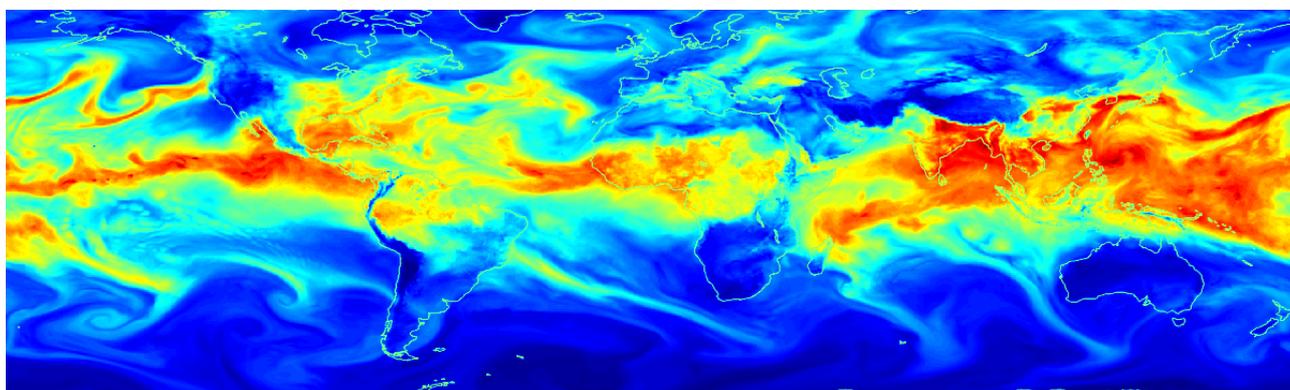
Наша работа посвящена моделированию гамма-излучения от ядер эжекты, ускоренных обратными ударными волнами в остатках сверхновых. В последнее время анонсировано несколько проектов по созданию гамма-телескопов с максимальными чувствительностями от $\sim 10^{-6}$ (AMEGO, e-ASTROGAM) до 10^{-5} (COSI) фотонов/($\text{см}^2 \text{ с}$) в диапазоне 1-10 МэВ. С помощью модели потока гамма-излучения можно оценить возможность обнаружения линий от ускоренных частиц эжекты и в дальнейшем – эффективность ускорения частиц обратной ударной волной. Таким образом, моделирование гамма-излучения в предположении наличия ускоренных тяжелых ионов становится актуальной теоретической задачей.

Процесс генерации гамма-излучения в прямых реакциях неупругого рассеяния рассматривается в соответствии с работой Vozhokin & Вуков (1997), где подробно показан расчет формы одиночной линии (от одной реакции). Для оценки величины полного потока можно не учитывать анизотропию испускания фотона ядром, так как полный поток усредняется по направлениям в результате интегрирования дифференциального потока. Поток гамма-фотонов, наблюдаемый на расстоянии d от остатка, зависит от концентрации мишеней и налетающих частиц, от распределения ускоренных частиц по импульсам, от сечения взаимодействия (которое зависит от кинетической энергии столкновения). Спектр ускоренных частиц, используемый в расчетах, имеет вид $Q(E) \sim (p(E))^\alpha$, при этом считаем частицы релятивистскими. Эффективность ускорения ионов к настоящему моменту мы оцениваем от 0.1% до 0.3% для разных остатков, основываясь на предыдущих моделях.

В работе рассматриваются остатки исторических сверхновых типа Ia: SN1006, SN1572 (Tycho's), SN1604 (Kepler's); а также остаток сверхновой типа II – Cas A. Все параметры остатков (размеры, массы частиц, скорости) и состав эжекты взяты из работ по обработке наблюдений. Сечения взаимодействия в реакции неупругого рассеяния с переходом ядра на первый возбужденный уровень, а также энергии испускаемых гамма-фотонов рассчитаны с помощью TALYS.

В результате рассчитанные значения потоков оказались на 2-4 порядка ниже максимальной чувствительности будущих гамма-телескопов. Следовательно, обнаружение линий гамма-излучения от частиц эжекты маловероятно. Однако, в случае более высокой эффективности ускорения, чем предполагалось в нашей модели, потоки могут достигать пороговых значений. В данный момент ведется работа по уточнению параметров модели.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ



ТИПЫ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДЬЯХ ПОЧЕПСКОГО РАЙОНА ПО ИНДЕКСУ NDVI

Алимова О.Д.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

На основе снимков Sentinel-2 2021-2024 годов были построены карты индекса NDVI для почв, используемых в сельском хозяйстве в Почепском районе Брянской области. Выявлено два типа неоднородности растительного покрова. Первый – природного происхождения связан с рельефом, а именно с локальными понижениями, а также с очагами сорняков. Идентифицируется данный тип по ярко выраженным и устойчивым во времени пятнам на поле. Второй тип связан с антропогенной деятельностью и на картах индекса NDVI отражается как полосчатость на полях. Она может быть сформирована из-за неравномерного внесения удобрений, преимущественно азотных, тем самым развитие растений идет по-разному. Процессы посева и вспашки создают эмерджентный микрорельеф, который влияет на распределение биомассы сельскохозяйственной культуры.

Почвенный покров Брянской области представлен в основном дерново-подзолистыми и серыми лесными почвами разной степени оглеенности и смывости. По карте индекса NDVI и почвенной карте Почепского района масштабom 1:50000 отмечено отсутствие взаимосвязи между типом почвы и биомассой сельскохозяйственной культуры. На основании этого можно сделать вывод о том, что в условиях современного земледелия почвенный покров не играет ключевой роли в формировании биомассы и как следствие урожайности, а основными факторами являются дозы внесенных удобрений и обработка почвы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИИ СВЕТА НА ЛЕДЯНЫХ АТМОСФЕРНЫХ АГРЕГАТАХ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Бабинович А.Е.^{1,2}, Коношонкин А.В.^{1,2}, Шишко В.А.¹, Ткачев И.В.¹

¹ *Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН*

² *Национальный исследовательский Томский Государственный Университет*

Ледяные облака представляют собой значительный фактор неопределенности в таких задачах, как исследование климата планеты и прогнозирование погоды, из-за влияния, которое они оказывают на глобальный энергетический баланс Земли. Изучение перистых облаков также является чрезвычайно важной задачей для дистанционного зондирования Земли и верной интерпретации полученных данных. Достоверно известно, что проводить зондирование из космоса практически невозможно при высокой облачности (при наличии преимущественно жидко-капельных облаков). Однако при кажущейся простоте эксперимента при ясном небе, наличие перистых облаков (часто неразличимых для наблюдателя) может существенно исказить полученные данные и привести к неправильным прогнозам и последующим неверным моделям. Причиной этому служит состав перистых облаков - несферические кристаллы льда, обладающие сложной формой, фактором пространственной ориентации и другими особенностями, которые приводят к сложностям при исследовании рассеяния света облаком.

Частицы могут быть как единичными - наиболее распространёнными являются столбики и пластинки. Так и сложносоставными - агрегаты, состоящие из множества частиц одинаковой геометрии, соприкасающихся в одной или нескольких точках, неподвижных друг относительно друга.

В данной работе исследуются характеристики рассеяния света агрегатами ледяных кристаллов различных форм с использованием разработанного в Институте Оптики Атмосферы им. В.Е. Зуева метода физической оптики. В отличие от традиционных подходов, данный метод позволяет более точно учитывать особенности распространения световых волн сложных структур, включая множественные внутренние отражения и преломления, а также явления интерференции и дифракции. Стоит отметить, что исследование свойств рассеяния света агрегатами является достаточно сложной задачей из-за особенностей их строения и множественных преломлений луча света. Ранее данный тип частиц редко подвергался исследованию из-за сложности расчета траектории луча и соответственно высоких временных затрат и требовательности к ЭВМ.

В ходе проведенного моделирования рассматривались агрегаты, состоящие из нескольких кристаллов, взаимно закрепленных в фиксированных точках. Анализ результатов показал, что агрегаты ледяных частиц обладают оптическими свойствами, сходными с хаотически ориентированными одиночными кристаллами. При этом степень их рассеяния и угловая зависимость интенсивности света изменяются в зависимости от геометрической конфигурации составляющих агрегата. Полученная информация позволила существенно расширить существующий банк данных матрицами рассеяния света для агрегатов без

необходимости проведения сложных трудновыполнимых расчетов. Кроме того, изученные особенности агрегатов позволяют существенно упростить и одновременно повысить точность при анализе данных, полученных при дистанционном зондировании Земли ввиду отсутствия необходимости рассмотрения агрегатов как отдельной фракции частиц, составляющих облако.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ No. 23-77-01084, <https://rscf.ru/project/23-77-01084/>.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПУСТЫНИВАНИЯ НА АПШЕРОНСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ И АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Байрамова Л.Ф.

Всероссийская академия внешней торговли Минэкономразвития РФ

Опустынивание представляет собой значительную глобальную экологическую проблему, особенно затрагивающую засушливые и полузасушливые регионы, где ежегодно теряется около 24 миллиардов тонн плодородной почвы из-за деградации земель. В Азербайджане более 30% территории подвержено опустыниванию, особенно на Апшеронском полуострове, который испытывает серьезный экологический ущерб от добычи нефти, изменения климата и неустойчивых сельскохозяйственных практик. Эта деградация привела к загрязнению почвы, нехватке воды и рискам для здоровья населения, что способствует внутренней миграции, поскольку люди ищут лучшие условия для жизни.

Апшеронский полуостров, характеризующийся полузасушливым климатом и низким уровнем осадков, претерпел значительную урбанизацию из-за нефтяной промышленности, которая превратила многие деревни в городские поселения. Для анализа состояния растительности использовались спутниковые данные Landsat-8 с 2013 по 2024 годы, а оценка проводилась с помощью Нормализованного индекса разности растительности (NDVI). Анализ временных рядов показал минимальные изменения значений NDVI, что указывает на слабую тенденцию к снижению здоровья растительности, вероятно, из-за промышленной деятельности и экологического стресса.

Прогнозные модели предполагают дальнейшее постепенное сокращение растительного покрова, подчеркивая необходимость постоянного мониторинга и повышения качества данных. Результаты подчеркивают важность внедрения стратегий по борьбе с опустыниванием, таких как инициативы по посадке деревьев и механизмы торговли углеродными выбросами. Усилия Азербайджана, включая масштабные кампании по посадке деревьев, направлены на восстановление деградированных земель и повышение биоразнообразия. Кроме того, введение механизмов ценообразования на углерод, таких как углеродные налоги и системы торговли выбросами (ETS), призвано стимулировать сокращение выбросов, одновременно обеспечивая баланс между экономическим ростом и экологической устойчивостью. Комплексный подход, сочетающий эти стратегии, необходим для решения сложных проблем опустынивания и содействия устойчивому развитию в Азербайджане.

СЕГМЕНТАЦИЯ ЛЕСНЫХ ПРОСЕК ПОД ЛЭП НА СНИМКАХ SENTINEL-2 С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ YOLO

Бахрамхан Я.О.¹, Ермаков Д.М.^{2,3}, Подольская Е.С.⁴

¹ НИУ Высшая школа экономики

² Институт космических исследований РАН

³ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

⁴ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

Заращение лесных просек под линиями электропередач (ЛЭП) относится к серьезным проблемам для объектов энергетической инфраструктуры. Эта проблема приводит не только к авариям на высоковольтных линиях, но и формированию возгораний при соприкосновении ЛЭП с сухой высокорослой растительностью, что потенциально может стать причиной лесных пожаров. Однако регулярный наземный мониторинг просек в лесной зоне Восточной Сибири осложнен низкой плотностью населения и дорожной сети.

Данное исследование описывает результаты дистанционного мониторинга состояния просек под ЛЭП с помощью нейросетевых технологий на примере Мотыгинского района Красноярского края. Среди открытых спутниковых данных снимки Sentinel-2 выбраны ввиду соответствия их пространственного разрешения ширине просек для выполнения сегментации. Ввиду разнообразного спектрального отклика наземного покрова Мотыгинского района решено создать несколько классов для разметки изображений: водные объекты, хвойные леса, широколиственные леса, низкорослая растительность, антропогенные объекты, облака, тени от облаков и целевой класс – лесные просеки под ЛЭП. Всего размечено около 500 снимков. Для искусственного наращивания набора данных, нивелирования дисбаланса между классами и увеличения разнообразия объектов, что уменьшает вероятность переобучения нейросети, была выполнена аугментация снимков, сохраняющая реалистичность изображений.

Набор размеченных данных обучен на нейронной сети YOLO (You Only Look Once) методом трансферного обучения. Это способствует повышению точности выделения классов ввиду развитых зрительных навыков у нейросети, применимых к более простым задачам, таким как поиск лесной просеки. После получения результатов рассчитаны метрики качества сегментации Intersection over Union (IoU) и коэффициент Сёренсена-Дайса.

Созданные маски лесных просек могут использоваться для последующего их изучения на предмет заращения путем расчета индекса растительности NDVI (англ. Normalized Difference Vegetation Index). В дальнейшем планируется использовать нейросетевой алгоритм в плагине программы QGIS для создания прототипа ГИС системы дистанционного мониторинга лесных просек под ЛЭП.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОРМАЛИЗОВАННЫХ ДАННЫХ SENTINEL-2 И МАТЕРИАЛОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ НА БОЛЬШИХ ТЕРРИТОРИЯХ НАЗЕМНЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ ЛЕСОВ

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 подход по определению запаса стволовой древесины на основе нормализованных данных Sentinel-2 с пространственным разрешением 10м и материалов ПП с использованием глобальной регрессионной оценки методом случайных лесов для тестовых полигонов, распределенных на территории России.

Проведен эксперимент по итеративной коррекции опорной выборки для выявления потенциально несогласующихся данных ПП с данными спутникового мониторинга. Коррекция выполняется путем автоматизированного анализа значений характеристик в спектральных каналах видимого и ближнего инфракрасного диапазонов и сильного отклонения прогноза модели от исходных целевых значений запаса стволовой древесины в ПП, рассчитанных на основе подхода out-of-bag.

Выполнен сравнительный анализ точности получаемых оценок с наземными данными на уровне отдельно взятых ПП, таксационных выделов и агрегированных до масштабов регулярной сети со средним пространственным разрешением около 250 метров.

Предложенный подход продемонстрировал, что итеративная коррекция опорной выборки по спектральным характеристикам и наиболее отклоняющимся оценкам запаса стволовой древесины существенно повышает точность модели и позволяет выявлять наиболее несогласующиеся данные ПП. Возможным источником несогласованности может быть недостаточное обучение модели, сложная структура лесного покрова или недостаточно точный ввод информации при наземном обследовании участка леса.

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» (госрегистрация № 124060500032-7). Обработка данных ДЗЗ осуществлялась с использованием ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019), развиваемого и поддерживаемого в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8).

ОЦЕНКА ЗАПАСА СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ SENTINEL-2

Ворушилов И.И.¹, Барталев С.А.^{1,2}, Егоров В.А.^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН*

В настоящее время есть необходимость в наблюдении биофизических характеристик лесов России. Одной из таких характеристик является запас стволовой древесины. В предыдущих работах он был успешно оценен на данных пространственным разрешением 230 метров, а также была рассчитана погрешность этой оценки. Данная работа представляет собой дальнейшее развитие методов оценки запаса стволовой древесины. А именно попытка провести аналогичные расчёты на данных более высокого пространственного разрешения. В частности, предлагается использовать данные со спутника Sentinel-2. Так как спектральные полосы восприятия радиометра, расположенного на спутнике Sentinel-2, шире, а сами пики восприятия отличаются от радиометра MODIS – необходимо будет заново оценить некоторые пороговые значения в модели. А также разработать метод переноса выборки на более высокое разрешение. Аналогично в работе будет представлен подобный прошлым метод предварительной обработки данных, только адаптированный для более высокого пространственного разрешения.

Исследование выполнено в рамках НИОКТР 124060500032-7 - Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, создание системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах.

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ В ИНТЕРЕСАХ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ «ВЕГА-ГИДРО»

Врублевский М.В., Бурцев М.А.

Институт космических исследований РАН

Внутренние водоемы, являясь основным источником пресной воды, постоянно подвергаются антропогенному воздействию, наблюдение последствий которого активно ведут с помощью методов дистанционного зондирования (см., например, [1], [2], [3], [4]). Не менее важную роль играют и климатические факторы, тесно связанные с развитием водоемов, изменения которых можно отслеживать по спутниковым данным (см., например, [5], [6]).

Для проведения таких работ зачастую используют спутниковые сервисы, такие как ВЕГА [7], позволяющие проводить мониторинг наземных экосистем. Для решения широкого набора задач гидрологии (от мониторинга водных объектов до оценки последствий наводнений) был разработан спутниковый сервис «Вега-Гидро» [8], осуществляющий сбор, хранение и предоставление данных широкого набора спектральных диапазонов, типов, пространственных и временных разрешений, а также имеющий специализированный инструментарий для осуществления комплексного анализа разнородных данных.

Среди множества данных, использующихся для мониторинга внутренних вод, существует большой пласт тематических продуктов, предоставляемый сервисом мониторинга суши «Коперник» CLMS (англ., Copernicus Land Monitoring Service) [9], который также предоставляет доступ к результатам обработки. Такие продукты включают: данные о мутности, концентрации хлорофилла-а, концентрации взвешенного вещества, температуре поверхности озер, маски водной поверхности и т. п.

Для решения задач мониторинга внутренних водоемов в сервисе «Вега-Гидро» в рамках текущей работы был подготовлен программный комплекс осуществляющий сбор, агрегацию и интеграцию тематических продуктов сервиса CLMS.

В докладе рассказывается об интегрируемых тематических продуктах CLMS, архитектуре программного комплекса, осуществляющего автоматизированное получение и хранение данных в интересах сервиса «Вега-Гидро», а также подготовке продуктов к архивации технологией UNISAT [10].

Работа выполнена с использованием ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» [11] при поддержке Минобрнауки в рамках темы «Мониторинг» (гос. регистрация № 122042500031-8).

Литература:

1. Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Последствия повреждения плотины Каховской ГЭС на реке Днепр // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 314-322. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-3-314-322>

2. Константинова А.М., Лупян Е.А. Анализ последствий прорыва дамбы Сардобинского водохранилища 1 мая 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 261-266. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-3-261-266>.

3. Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Лупян Е.А. Мониторинг последствий наводнения в Оренбургской области при половодье на реке Урал в 2024 году // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. №3. С. 339-347

4. Трошко К.А., Денисов П.В., Лаврова О.Ю., Лупян Е.А., Медведев А.А. Наблюдение загрязнений реки Амбарной, возникших в результате аварии на ТЭЦ-3 города Норильска 29 мая 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 267–274. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-267-274.).

5. Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Берденгалиева А.Н., Выприцкий А.А. Динамика площадей водоёмов Западного ильменно-бугрового района дельты Волги // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. №4. С. 285–290. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-285-290

6. Тихонов В.В., Романов А.Н., Хвостов И.В., Алексеева Т.А., Синицкий А. И., Тихонова М. В., Шарков Е. А., Комарова Н. Ю. Межгодовые вариации собственного микроволнового излучения Обской губы в период ледостава и их связь с гидрологическими и климатическими изменениями региона // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 6. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-185-199

7. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А. и др. Система «Вега-Science»: особенности построения, основные возможности и опыт использования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 6. С. 9–31. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-9-31.

8. Бурцев М.А., Уваров И.А., Лупян Е.А., Врублевский М.В., Захарова Е.А., Крыленко И.Н., Полянин В.О. «Вега-Гидро» - спутниковый сервис для задач гидрологии // Материалы 22-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2024. С. 354. DOI 10.21046/22DZZconf-2024a

9. Copernicus Land Monitoring Service – URL: <https://land.copernicus.eu/en> (дата обращения 10.03.2025)

10. Прошин А.А., Лупян Е.А., Балашов И.В., Кашницкий А.В., Бурцев М.А. Создание унифицированной системы ведения архивов спутниковых данных, предназначенной для построения современных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т.13. № 3. С. 9-27.

11. 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.

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЛАЧНОСТИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Гальцев И.И.

Национальный Исследовательский Томский Государственный Университет

В метеорологии и климатологии анализ облачности играет ключевую роль в прогнозировании погоды, мониторинге атмосферы и изучении глобальных климатических процессов. Однако сложность анализа обусловлена динамичной природой облаков и высокой изменчивостью их структуры. Классические методы компьютерного зрения зачастую оказываются недостаточно эффективными для решения таких задач. Поэтому применение технологий глубокого обучения становится перспективным направлением.

Глубокие нейросетевые модели способны автоматически выделять сложные и многоуровневые признаки из данных, что делает их особенно применимыми для анализа спутниковых изображений. В рамках исследования была разработана оптимальная топология сверточной нейронной сети, обеспечивающая высокую точность классификации. Итоговая конфигурация включает в себя 8 сверточных слоев, которые отвечают за извлечение признаков из входных данных на разных уровнях абстракции. Для уменьшения размерности и предотвращения переобучения применены 4 слоя пулинга (pooling). Для регуляризации и повышения обобщающей способности сети добавлено 5 слоев отсева (dropout), которые случайным образом отключают часть нейронов во время обучения. Архитектура также содержит 2 полносвязных (fully connected) слоя для интеграции извлеченных признаков и формирования релевантных представлений данных. Последним элементом является выходной слой, предназначенный для генерации окончательных прогнозов или классификационных меток. Такая комбинация компонентов обеспечивает баланс между производительностью и точностью модели, делая её применимой для решения задачи классификации облачности.

В процессе оценки эффективности разработанной архитектуры нейронной сети было проведено тестирование на специализированном датасете, состоящем из 44824 изображений. Данный набор данных включает в себя 10 различных морфологических типов облаков, что обеспечивает широкое представительство классов для обучения и проверки модели. В результате экспериментов удалось достичь уровня точности классификации не менее 90%, что свидетельствует о высокой производительности и корректно подобранной конфигурации нейронной сети.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯ ПРИЗЕМНОГО ДАВЛЕНИЯ И ВОЛН ХОЛОДА НАД ЕВРАЗИЕЙ ВО ВРЕМЯ ВСП (СМЕЩЕНИЕ)

Головко А.Г., Ермакова Т.С.

Российский государственный гидрометеорологический университет

В исследовании проводился анализ поля приземного давления и волн холода для 5 зим (2003-2004, 2005-2006, 2006-2007, 2007-2008, 2013-2014) во время внезапного стратосферного потепления (ВСП) со смещением циркумполярного вихря в Северном полушарии. Для анализа синоптических карт и для построения среднезональной температуры, среднезональной компоненты ветра, амплитуд планетарных волн (с волновым числом 1 и 2) и вертикальных аномалий температуры и ветра использовались данные реанализа MERRA-2. Были выделены события ВСП согласно их динамическому различию и проанализированы синоптические ситуации в периоды смещения циркумполярного вихря. В среднем воздействие на поверхность после событий расщепления происходит на 1 неделю раньше, чем после смещения, но с значительной вариабельностью. События расщепления менее предсказуемы, чем события смещения, особенно на сроки 1–2 недели вперёд. Изучение отклика тропосферы не только при ВСП, но и при конкретных его типах поможет улучшить качество среднесрочных прогнозов. В результате выявлено, что характерное смещение полярных антициклонов при смещении вихря фиксировалось в следующих регионах: Среднесибирское плоскогорье (3/5 зим), Республика Саха (2/5 зим), п-ов Таймыр (2/5 зим), арх. Новая Земля (2/5 зим), Чукотский а.о. (1/5 зим), с о. Гренландия до Санкт-Петербурга (1/5 зим), Кольский п-ов (1/5 зим), п-ов Ямал (1/5 зим). Принципиальных отличий в траектории смещения полярных антициклонов при ВСП со смещением по сравнению с событиями расщепления не обнаружено. Однако полярные антициклоны во время расщепления смещаются не только на материк, но и до более южных широт, например, достигая границ Казахстана в 2021 г. Волны холода при смещении стратосферного вихря также фиксировались, но их экстремумы, в основном, не такие высокие по сравнению с годами расщепления ВСП. Самая большая аномалия температуры у поверхности была обнаружена в Мурманске и составила 25,5°C за 6 дней (с 15.01.2006 по 20.01.2006), а для декабря 2020 года в Игарке и января 2001 в Хатанге за 6 дней приземная температура понижалась на 30,3°C (годы расщепления вихря). Исходя из этого, можно предполагать, что для зим со смещением циркумполярного вихря не характерно продвижение полярных антициклонов далеко на юг материка, а погодные условия у поверхности менее суровые.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПАДИН НА ТЕРРИТОРИИ ТРУБЧЕВСКОГО ОПОЛЬЯ

Государева Е.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Возможности дистанционного зондирования увеличиваются в последние десятилетия. В частности, увеличивается разрешение снимков и их доступность. Из-за того, что сейчас есть возможность свободно получать снимки высокого разрешения через крупные агрегаторы (такие как Google-карты и Яндекс-карты) это значительно расширяет возможности некоторых научных исследований. В частности, открываются возможности для картирования объектов размером от 0,01 га – что раньше было затруднительно.

В данном исследовании изучались западины – неглубокие округлые понижения, резко выделяющиеся на фоне пологого рельефа. Их глубина обычно составляет до 1 м, а площадь – до 1 га. Объекты таких размеров не отображаются на кадастровых картах – они не представляют интереса для организаций.

На данный момент существует несколько работ, посвящённых западинам, однако, в них обычно изучается растительный состав западины, так как эти не обрабатываемые участки поля, изолированные от крупных естественных биогеоценозов представляют естественный ботанический интерес. В данном исследовании были вручную закартированы и проанализированы западины в Брянской области на территории Трубчевского ополья, чья площадь составляет 82000 га. Всего было выделено более 1000 объектов, часть из которых составляют антропогенные западины, обычно созданные для обеспечения скота водой на пастбищах. Исследование сосредоточено на естественных западинах, которых выделено более 700.

Для идентификации естественных западин использовались такие маркеры, как водная поверхность, болотистая или лесная растительность, а также иной цвет растительности вследствие скопления влаги, что и является частью атрибутированной информации западин в данном исследовании. Кроме того, в связи с большим разрешением снимков, была возможность идентифицировать западины по следам вспашки. Водители тракторов (которым визуально доступен весь рельеф на поле) предпочитают объезжать западины для сохранности орудий.

Данные были статистически обработаны для выявления закономерностей их распределения. В результате было выяснено, что данные неплохо аппроксимируются несколькими последовательностями степенных функций. Таким образом, можно с высокой степенью вероятности утверждать, что размеры западин описываются несколькими фрактальными моделями.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Гофман М.Д.

Научно-исследовательский центр топогеодезического и навигационного обеспечения 27 центрального научно-исследовательского института министерства обороны Российской Федерации

Идентификация отдельных деревьев с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) играет ключевую роль в управлении лесными ресурсами, экологическом мониторинге и оптимизации городских ландшафтов. Современные методы анализа данных ДЗЗ варьируются по точности, масштабируемости и ресурсоемкости, что требует их комплексного сравнения для выбора оптимального подхода.

Ручная интерпретация, основанная на визуальном анализе спектральных и текстурных характеристик в ГИС-программах, обеспечивает высокую точность в контролируемых условиях, однако неприменима для масштабных задач из-за трудоемкости и субъективности. Автоматизированные алгоритмы, такие как сегментация изображений по градиентам яркости, использование вегетационных индексов (NDVI) и текстурный анализ, позволяют оперативно обрабатывать большие массивы данных, но их эффективность снижается при наличии облачности, затенения или сезонных изменений растительности. Методы машинного обучения, включая сверточные нейронные сети (U-Net, Mask R-CNN), демонстрируют превосходную точность за счет обучения на аннотированных датасетах, однако требуют значительных вычислительных ресурсов и репрезентативных обучающих выборок. Гибридные подходы, объединяющие оптические, лидарные и радиолокационные данные, минимизируют ошибки в гетерогенных ландшафтах, повышая робастность моделей, но остаются ресурсоемкими из-за сложности интеграции разнородных данных.

Ключевыми критериями сравнения методов являются точность (оцениваемая через метрики F1-score и IoU), масштабируемость, ресурсоемкость и устойчивость к изменяющимся условиям съемки. Наибольшая точность характерна для глубокого обучения и гибридных методов, тогда как автоматизированные алгоритмы оптимальны для оперативного мониторинга крупных территорий. Ресурсоемкость варьируется от низкой (спектральные индексы) до крайне высокой (лидарные данные и нейросетевые модели), что определяет выбор метода в зависимости от доступной инфраструктуры. Устойчивость к облачности, сезонным колебаниям и разнородности породного состава остается вызовом для методов, основанных исключительно на оптических данных.

Перспективы развития связаны с интеграцией мультисенсорных данных (например, Sentinel, LiDAR) для повышения детализации, созданием самообучающихся моделей, адаптирующихся к биоразнообразию экосистем, и использованием полуконтролируемых алгоритмов для снижения зависимости от размеченных данных. Расширение применения открытых спутниковых данных, таких как Sentinel-2, делает технологии более доступными, а автоматизация процессов обработки ускоряет анализ.

Таким образом, выбор метода идентификации отдельных деревьев зависит от баланса между требуемой точностью, доступными ресурсами и целевыми задачами — будь то детальный анализ локальных участков или оперативный мониторинг крупных территорий. Прогресс в области ДЗЗ и искусственного интеллекта открывает путь к созданию универсальных инструментов, способных адаптироваться к глобальным экологическим изменениям и обеспечивать устойчивое управление лесными ресурсами.

О ВЕРОЯТНОСТНОМ ИНФОРМИРОВАНИИ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ МОДЕЛЬЮ МНОГОМАСШТАБНОГО КВАДРОДЕРЕВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СЕГМЕНТАЦИИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Достовалова А.М., Горшенин А.К.

Федеральный Исследовательский Центр "Информатика и Управление" Российской Академии Наук

Решение задачи обнаружения на аэрокосмических снимках Земной поверхности мало-размерных методами глубокого обучения сопряжено с разработкой эффективных методов анализа многомасштабных характеристик изображений. Архитектура нейросетевого квадродерева, ранее предложенная авторами в статье [1], состоящая из базового сверточного кодировщика признаков и графово-сверточной сети, устанавливающей взаимосвязи между отдельными элементами изображения в разных пространственных разрешениях, продемонстрировала эффективность при сегментировании мало-размерных объектов, таких как поселения или корабли. В докладе представлено обобщение данного подхода, в том числе для возможности обработки изображений высокого разрешения. Для повышения эффективности обработки пространственной информации в суперпиксельном [2] представлении изображения в докладе предложена модификация стандартного слоя графовой свертки с вниманием [3]. Кроме того, для улучшения качества сегментирования объектов размера, близкого к размеру суперпикселя, архитектура была дополнена специальным блоком учета взаимосвязей между элементами суперпикселей. Тестирование предложенного подхода было проведено на открытых наборах изображений, включающих в себя радиолокационные изображения кораблей (наборы HRSID и SSDD) и данные съемок беспилотных летательных аппаратов (наборы UAVid и UDD). Предлагаемая вероятностно-информированная графово-сверточная архитектура позволила повысить качество распознавания малых объектов для всех тестовых наборов данных, прежде всего в ситуациях, когда размеры исследуемых объектов близки к величине суперпикселей. В сравнении с базовыми сверточными кодировщиками, в качестве которых использовались сети DeepLabv3, U-Net, PsPNet, средний прирост метрики F1 у предложенной архитектуры по всем рассмотренным наборам данных достигает 18.82

Исследование проводилось с использованием инфраструктуры Центра коллективного пользования «Высокопроизводительные вычисления и большие данные» (ЦКП «Информатика») ФИЦ ИУ РАН (г. Москва).

Литература:

1. Достовалова А.М. Нейросетевое квадродерево и его применение для сегментирования спутниковых изображений // Информатика и ее применения. 2024. Т. 18, № 4, с. 77–85.
2. Liu X., Li Y., Liu X., Zou H. Dark Spot Detection from SAR Images Based on Superpixel Deeper Graph Convolutional Network // Remote Sensing. 2022. Vol. 14, Iss. 21, Art. 5618.
3. Vrahatis A.G., Lazaros K., Kotsiantis S. Graph Attention Networks: A Comprehensive Review of Methods and Applications // Future Internet. 2024; Vol. 16, Iss. 9. Art. 318.

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ВЫБРОСОВ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ: ПЕРСПЕКТИВЫ И РИСКИ

Жихарева А.А.

ВАВТ Минэкономразвития России

Глобальное потепление и изменение климата остаются в числе ключевых вызовов современности, определяя международную политическую и экономическую повестку. В ответ на растущую угрозу возник тренд на углеродную нейтральность – стремление к балансу между выбросами парниковых газов (ПГ) и их поглощением, с целью минимизации воздействия на климат. Пик декларирования национальных обязательств по достижению углеродной нейтральности пришелся на 2019-2021 годы, когда многие страны, включая лидеров мировой экономики, заявили о своих амбициозных планах по декарбонизации. В этом контексте спутниковый мониторинг выбросов ПГ, обладающий возможностями глобального охвата, высокой точности и оперативности, представляется перспективным сегментом рынка ДЗЗ. Он позволяет не только контролировать соблюдение заявленных обязательств, но и выявлять источники выбросов, оптимизировать стратегии сокращения ПГ и оценивать эффективность природоохранных мероприятий.

Однако в последние годы наблюдается определенный пересмотр отношения к концепции углеродной нейтральности. Новые научные исследования все чаще поднимают вопросы о необоснованности и даже контрпродуктивности чрезмерного акцента на углеродной нейтральности в ущерб другим важным аспектам устойчивого развития, таким как энергетическая безопасность и экономический рост. Эти исследования подчеркивают, что достижение углеродной нейтральности любой ценой может привести к нежелательным экономическим и социальным последствиям, особенно для развивающихся стран.

Более того, политический ландшафт также претерпевает изменения. С приходом к власти нового президента в США произошел заметный сдвиг в климатической политике. Отказ от приоритета углеродной нейтральности и выход из Парижского соглашения по климату стали знаковыми шагами, демонстрирующими переоценку приоритетов и акцент на энергетическую независимость и экономическое развитие. Этот поворот создает риски для международного сотрудничества в сфере климата и может повлиять на приверженность других стран к ранее заявленным обязательствам.

В связи с этим возникает вопрос: сохранится ли стремление к углеродной нейтральности в остальных странах, в частности в России, и какие риски для рынка спутникового мониторинга ПГ это повлечет за собой?

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ РАДИОМЕТРА MIRAS СПУТНИКА SMOS ДЛЯ АНАЛИЗА СПЛОЧЕННОСТИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Катамадзе Д.Р.¹ Тихонов В.В.^{2,3,4}, Алексеева Т.А.^{4,2},
Афанасьева Е.В.^{4,2}, Соколова Ю.В.², Хвостов И.В.³,
Романов А.Н.³

¹ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет космических исследований*

² *Институт космических исследований РАН*

³ *Институт водных и экологических проблем СО РАН*

⁴ *Арктический и антарктический научно-исследовательский институт*

Определение сплоченности морского льда крайне важно для безопасного судоходства в морях российской Арктики. В настоящее время основным методом исследования характеристик морского ледяного покрова являются спутники дистанционного зондирования Земли. Для определения параметров морского льда в полярных акваториях наиболее оптимальны спутниковые микроволновые радиометры, предоставляющие стабильные данные независимые от освещения и погодных условий. Спутниковые данные требуют тщательной обработки и интерпретации. Для определения сплоченности морского льда на основе информации, полученной по данным микроволновых радиометров, применяются специализированные алгоритмы. Однако они имеют существенные погрешности, которые обусловлены сезонными, климатическими, географическими и другими факторами. В периоды таяния ледяного покрова, а также во время появления начальных форм льда, алгоритмы занижают сплочённость морского льда. Излучательная способность тающего, загрязненного льда, покрытого частицами пыли, водорослями или нефтепродуктами, начальных форм льда, таких как нилас и тонкий молодой лед, может значительно отличаться от излучательной способности однолетнего и многолетнего льда, что приводит к неверному определению его свойств алгоритмами. Для решения проблемы занижения сплоченности морского льда необходимо совершенствование существующих алгоритмов. Для этих целей в докладе предложено использовать более низкие частоты, чем используемые в современных алгоритмах определения сплоченности морского льда. Такой подход позволяет принимать излучение от более глубоких слоев снежно-ледяного покрова. Радиометр MIRAS (Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis) спутника SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) работает на частоте 1,4 ГГц. Глубина формирования излучения на этой частоте значительно больше, чем на частотах используемых современными алгоритмами. Таким образом, данные радиометра MIRAS позволят получить дополнительную информацию о состоянии снежно-ледовой толщи, и тем самым усовершенствовать современные алгоритмы и повысить их точность.

Для определения сплоченности льда были получены данные яркостной температуры, определенной радиометром MIRAS, по нескольким областям в Карском море за 2022, 2023 год. Данные о реальной сплоченности морского льда по выбранным областям за 2022 и 2023 гг. были предоставлены сотрудниками ААНИИ (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт). Эта сплоченность определялась по дешифровочным признакам на спутниковых изображениях в видимом и инфракрасном диапазоне, а также

снимков, полученных радиолокаторами с синтезированной апертурой. На основе данных яркостной температуры и сплоченности морского льда за 2022 год было протестировано нескольких моделей машинного обучения. Используя данные по яркостной температуре за 2023 год, а также метрики эффективности, была определена наиболее перспективная модель машинного обучения – XGBoost, которая и применялась для уточнения сплоченности морского льда по данным радиометра MIRAS.

Анализ результатов определения сплоченности морского льда рядом современных алгоритмов выявил два наиболее оптимальных, которые были использованы для дальнейшей корректировки. Исследование метеоданных, в даты наибольших ошибок этих двух алгоритмов, показал целесообразность применения корректировки сплоченности морского льда определенной XGBoost на основе данных MIRAS, в августе и сентябре при температурах выше $-1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температура замерзания морской воды), в остальное время при температуре выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температура таяния поверхности снега и льда). Скорректированные алгоритмы показали более точные результаты сплоченности морского льда, а также подтвердили перспективность дальнейших исследований применения низкочастотных данных микроволновых радиометров для определения характеристик морского ледяного покрова.

Работа выполнена при поддержке темы «Мониторинг» (гос. регистрация № 122042500031-8) (Катамадзе Д.Р., Тихонов В.В., Соколова Ю.В.). Получение и обработка данных радиометра MIRAS спутника SMOS выполнено при поддержке темы «Природные и природно-хозяйственные системы Сибири в условиях современных вызовов: диагностика состояний, адаптивные возможности, потенциал экосистемных услуг» (госзадание № FUFZ-2021-0007) (Хвостов И.В., Романов А.Н.). Дешифровка спутниковых изображений в видимом и инфракрасном диапазоне, а также снимков, полученных радиолокаторами с синтезированной апертурой, для определения реальной сплоченности морского льда, выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 23-17-00161 (Алексеева Т.А, Афанасьева Е.В.).

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ КОНСТАНТИНОВСКОГО РАЙОНА АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Кирьяков Н.В.

ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет

1. Применение спутниковых технологий в сельском хозяйстве позволяет осуществлять контроль за сельскохозяйственными угодьями, отслеживать экологические проблемы и анализировать изменения землепользования.

2. Научная новизна заключается в использовании спутниковых технологий для анализа сельскохозяйственных процессов, сочетании спутникового мониторинга, кадастровых данных и геоинформационных технологий.

3. Цель исследования — проконтролировать использование земель сельскохозяйственного назначения на соблюдение севооборота по данным спутникового мониторинга.

4. Для проведения исследования использовались спутниковые изображения от европейских спутников Sentinel 2A и Sentinel 2B, а также геоинформационный сервис ВЕГА.

5. Дальневосточный ГАУ совместно с Институтом космических исследований РАН проводит работу по актуализации векторного слоя сельскохозяйственных земель в Амурской области с применением данных дистанционного зондирования Земли.

6. Анализ состояния сельскохозяйственных земель в Константиновском районе выявил нарушения севооборота и случаи самовольного захвата неучтённых сельскохозяйственных земель.

7. Спутниковый мониторинг позволяет предоставлять обширный спектр данных для анализа текущей ситуации и сопоставления её с архивной, а также может быть использован для лесного хозяйства, агрострахования и других целей.

8. Практическое предложение для производства — соблюдение мер по рациональному использованию земель в сельскохозяйственной деятельности и усиление контроля за использованием землепользования с применением методов дистанционного зондирования Земли.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ WRF-ARW

Клецова В.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет

Численное моделирование мезомасштабных атмосферных процессов играет важную роль в прогнозе погоды и оценке климатических условий. Настоящее исследование направлено на оптимизацию конфигурации модели WRF-ARW для Ленинградской области и Санкт-Петербурга с целью повышения точности прогноза метеорологических параметров. Особое внимание уделяется влиянию урбанизации на формирование метеорологических условий, включая эффект острова тепла, который оказывает значительное влияние на температуру и характеристики ветра в городской среде. Для оценки качества моделирования проведено сравнение результатов модели WRF-ARW с анализом глобальной модели GFS, также проводится верификация полученных данных с использованием информации дистанционного зондирования Земли. Результаты проведенных исследований подтверждают, что выбранная конфигурация достаточно точно учитывает местные особенности и адаптируется к локальным условиям.

КОРРЕКЦИЯ АЛГОРИТМА ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ МТВЗА-ГЯ

Клитная А.В.¹, Садовский И.Н.²

¹ *Факультет космических исследований МГУ*

² *Институт космических исследований РАН*

Работа посвящена внесению изменений в существующую процедуру географической привязки измерений, выполняемых российским сканером/зондировщиком МТВЗА-ГЯ, установленным на борту космического аппарата «Метеор-М» № 2-4.

Необходимость данной корректировки обусловлена результатами, полученными сотрудниками ИКИ РАН в рамках работ по тематической обработке данных, поступающих с этого прибора. В частности, на примере корректировки географической привязки различных инструментов этой серии (функционирующих в настоящее время и закончивших свою работу на орбите) было показано, что оптические лучи визирования частотных каналов, относящихся к разным облучателям антенной системы, ориентированы по-разному. Данный факт был подтвержден дополнительно в рамках исследований радиотепловых портретов солнечного диска и его окрестностей. Разнонаправленность приводит к тому, что для каждой группы частотных каналов требуются свои корректировочные углы крена, тангажа и рыскания, обеспечивающих максимальное совпадение формируемых прибором радиометрических портретов с реперными географическими точками на поверхности Земли. В качестве начального приближения этот подход является оправданным и дает возможность оценить потенциальные пределы точности географической привязки приборов этой серии. Однако корректность данной процедуры остается под вопросом, поскольку оказывается, что ось вращения (сканирования) прибора должна иметь свою ориентацию для каждой группы частотных каналов, что физически невозможно. Для устранения возникших несоответствий предлагается в рамках обновленной процедуры географической привязки формирование не одного, а группы векторов наблюдения в приборной системе координат (их число определяется количеством облучателей антенной системы), с единой осью вращения, но различающимися углами сканирования в угломестной и азимутальной плоскостях.

Второе приближение существующего алгоритма географической привязки, требующее корректировки, - это положение о совпадении трех основных систем координат – приборной, космического аппарата и орбитальной. Необходимость отказа от имеющегося упрощения обусловлена периодическим маневрированием спутника-носителя «Метеор-М» № 2-4. Это, в свою очередь, приводит к возникновению дополнительных смещений в ориентации лучей визирования прибора, корректный учет которых невозможен в рамках используемых приближений и, как следствие, приводит к неверной оценке угла встречи с землей и изменению плоскостей поляризации отдельных частотных каналов прибора.

Детальному описанию указанных проблем, а также четкой формулировке предлагаемых модификаций существующего алгоритма географической привязки и посвящена содержательная часть представляемой работы.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8).

ВОПРОСЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Колодяжный М.В., Бойко Н.Г.

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма

Идентификация и классификация различных типов культур является начальным этапом дистанционного мониторинга сельскохозяйственных посевов. Важно проводить ежегодное обновление маски озимых/яровых культур для получения более точных и репрезентативных данных.

Идентификация озимых культур связана с рядом нюансов, особенно при её проведении в течение зимовки. Осенняя вегетация продолжается с октября по декабрь, в данный период зачастую отмечается недостаток данных ввиду отсутствия космических снимков из-за высокой облачности и наличия снежного покрова.

Основным параметром, который используется при проведении идентификации, является NDVI. NDVI – нормализованный разностный вегетационный индекс, который получил наиболее широкое применение в области оценки фотосинтетически активной биомассы. В основе определения индекса лежат разновременные снимки со спектральными каналами в красном (0,55–0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75–1,00 мкм) [1].

Расчет NDVI производится по формуле:

$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, где NIR и RED – отражение в ближней инфракрасной и красной областях спектра соответственно.

Результатом объединения нескольких снимков за различные периоды в проекции NDVI является синтезированное композитное изображение. Благодаря использованию разновременных космических снимков, становится возможным отслеживание динамики хода значений NDVI за определённый период. Использование такого метода в большинстве случаев позволяет визуально отличить озимые и яровые культуры друг от друга. В рамках данной работы для подобной обработки изображений использовался веб-сервис УНУ «ВЕГА-Science» - разработки Института Космических Исследований РАН [2].

Так как значения NDVI в зимний период варьируются, как правило, от 0,4 до 0,8 в зависимости от культуры, агрометеорологических и прочих условий [3]. В данный интервал времени аналогичные значения могут иметь многолетние насаждения, сидеральные пары, залежи, а также поля, занятые сорной растительностью. Поэтому важно анализировать не единичные снимки, а их серию, охватывающую различные этапы развития растений.

Оптимальное время для проведения идентификации озимых культур – начало-середина апреля, в данный момент наблюдается наибольший контраст между озимыми и ранними яровыми культурами, а также другими типами земель сельскохозяйственного назначения, что упрощает процесс, а также позволяет частично автоматизировать процесс с помощью классификации.

Можно заключить, что идентификация различных типов культур является важным этапом при дистанционном мониторинге растительности, при этом требует правильного подбора снимков и их дальнейшей обработки.

Список использованной литературы:

1. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS // Third ERTS Symposium, NASA SP-351. 1973. Vol. 1. P. 309–317.

2. Официальный сайт сервиса ВЕГА. [Электронный ресурс] Точка доступа: <http://sci-vega.ru/> (дата обращения 17.03.2025)

3. Комаров, А. А. Оценка состояния травостоя с помощью вегетационного индекса NDVI / А. А. Комаров, А. А. Комаров // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 51. – С. 124-129.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ИЗМЕНЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ РЕКИ ДОН

Колотев А.Е., Коленкина М.М.

МИРЭА - Российский технологический университет

С ростом технологий человечество получило возможность исследовать Землю, практически «не выходя из дома» при помощи данных дистанционного зондирования Земли (здесь и далее – ДЗЗ) – технологии наблюдения за исследуемым участком удаленно, при помощи спутников (космическое зондирование), аэрофотосъемки (в том числе и при помощи БПЛА).

Методы дистанционного зондирования стали практически незаменимы при исследовании рек и их берегов – поскольку необходимо отслеживать изменение уровня воды, размыв берегов, возникновения затопления прибрежных полос. Именно поэтому данная методика была выбрана для изучения и расчётов зон осыпей и площадей затоплений по берегам реки Дон, так как ее песчаное и илистое дно (расположено вдоль всей реки) быстро размывается, что может провоцировать как природные, так и техногенные катастрофы.

Целью данной работы является непосредственное исследование геодинамики изменения береговой линии реки Дон и автоматизация процесса мониторинга с выявлением изменения состояния берегов, а так же изучение причин размывов и просадок грунта по данным дистанционного зондирования с различных спутниковых систем.

АПРОБАЦИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОДХОДОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ В С.П. ХАТАНГА, КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ

Лебедев Я.О.^{1,2,3}, Скобелев К.Д.², Кобец Д.А.⁴

¹ *НИИ Центр экологической промышленной политики*

² *РТУ МИРЭА*

³ *НОО Русского географического общества*

⁴ *Институт космических исследований РАН*

Исследования, проводимые на пространствах, относящихся к территориям Арктической зоны Российской Федерации связаны со значительными транспортными и климатическими сложностями, вместе с тем, актуальность их реализации в полной мере соответствует содержанию Указа Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» и Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утв. Указом Президента Российской Федерации 28 февраля 2024 года № 145).

В 2023-2024 гг. в рамках реализации проекта РГО «Арктика. Генеральная уборка» в сельском поселении Хатанга была проведена механическая очистка части территорий, загрязненных отходами отдельных видов, образованных в результате осуществления предыдущей хозяйственной деятельности предприятий, проведена предварительная оценка степени загрязнения территории и негативных воздействий на окружающую среду.

Основной научной задачей экспедиции определено проведение стратегической социально-экологической оценки территории. Методические подходы стратегической социально-экологической оценки позволяют выявлять объективные закономерности эволюции экосистем и природных комплексов, а также их устойчивость, оценить адаптивность системы продовольственной безопасности, системы обращения с ТКО, определить приоритеты сохранения и развития культурного наследия и направления формирования инфраструктуры экологического туризма и другие. Комплексный подход позволяет заложить основы стратегического планирования развития территории, комплиментарного диалогической концепции экологизации подходов при природопользовании, обеспечивающих устойчивое функционирование территории и достижения целей устойчивого развития Организации Объединенных Наций.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ ДЗЗ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА И МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НЕФТЕПРОДУКТАМИ В МОРСКИХ АКВАТОРИЯХ НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Малышкин Т.Е., Кожелин И.В.

ООО "СР ДАТА"

15 декабря 2024 года, в условиях штормового волнения в Керченском проливе Черного моря, потерпели крушение танкеры “Волгонефть-212” и “Волгонефть-239”, следовавшие по маршруту “Ростов-на-Дону” - порт “Кавказ” с грузом мазута на борту. В результате механических воздействий вследствие штормового волнения, корпуса обоих танкеров переломились в области миделевого сечения конструкций. Разрушения конструкций танкеров привели к разливу более легких фракций перевозимых горюче-смазочных материалов в акватории Черного моря, а также оседанию на дне более тяжелых фракций мазута. В открытом море оказалось более 10 тыс. т. мазута.

В научной работе представлены методы обработки данных радиолокационной космической съемки для решения задачи дешифрирования загрязнений нефтепродуктами морских акваторий, а также технология моделирования переноса и распространения "сликов" на основе альтиметрических, скаттерометрических и инфракрасных спутниковых съемок Земли. Обработка данных ДЗЗ производилась посредством открытых библиотек языка программирования "Python".

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЛЕТНЕГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИЙ, ОТНОСЯЩИХСЯ К БАССЕЙНУ АРАЛЬСКОГО МОРЯ, ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Мартьянова В.В.¹, Ермаков Д.М.²

¹ *Московский государственный университет, Факультет космических исследований*

² *Институт космических исследований РАН*

Высыхание Аральского моря является значимой проблемой для азиатских республик. В связи с этим важной задачей становится анализ гидрологического режима территорий Среднеазиатских республик, относящихся к водосбору Аральского моря.

Целью работы была апробация и отработка методики анализа гидрологического баланса территорий по спутниковым данным на примере Казахстана и Узбекистана. Примененная методика позволяет проводить расчеты элементов водного баланса в атмосфере по данным спутникового радиотеплового мониторинга. Суть метода заключается в вычислении параметров горизонтального переноса водяного пара в атмосфере над сушей, что позволяет оценить разность между испарением и осадками над заданной территорией. В ходе работы были построены контуры стран в специальной программе Viewflow. Получены долговременные ряды атмосферного водного баланса для Казахстана и Узбекистана, охватывающие 12-летний период. Рассчитаны оценки годовых осадков на территории указанных стран. Полученные значения осадков согласуются с официальной статистикой, что подтверждает достоверность методики. Показан сезонный ход выпадения осадков, который соответствует климатическим особенностям региона. Например, для Казахстана характерны пики осадков в весенний и осенний периоды, в то время как для Узбекистана наблюдается более выраженный летний минимум осадков, что связано с наличием полупустынь на территории страны. Проведенное исследование позволило получить количественные оценки для водного баланса на территории Казахстана и Узбекистана. В дальнейшей работе планируется расширить географию исследования и получить аналогичные оценки для территорий других стран Центральной Азии.

ПОДРОБНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТОЧНОСТИ СПУТНИКОВЫХ ПРОДУКТОВ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЁННЫХ ОГНЁМ УЧАСТКОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Матвеев А.М., Балашов И.В., Барталев С.А.,
Егоров В.А.

Институт космических исследований РАН

В большинстве случаев при валидации пройденных огнём территорий, полученных по данным продуктов ДЗЗ, рассчитываются общие показатели точности: ложно выявленные и пропущенные участки, систематическое отклонение оценки площади участка и F1 score. Более полную картину может дать оценка метрик точности в зависимости от площади отдельных пройденных огнём участков [7; 15]. Возможен более детальный анализ характеристик ложно выявленных и пропущенных площадей повреждённых участков [8; 15; 17]. Необходимо также учесть систематической ошибки, которая может быть вызвана недоучётом невыгоревших участков в границах выделенных периметров пожаров [12; 16].

В данной работе рассмотрены подробные характеристики точности картографирования пройденных огнём площадей на территории России по данным продуктов ДЗЗ низкого пространственного разрешения (250–500 м): ИКИ РАН (или SRBA) [1, п. 2.2], FireCCI51 [13], FireCCIS311 [14], MCD64A1 C6 [9] и VNP64A1 C2 [10]. Анализ проводится по обобщённым типам растительного покрова продукта ИКИ РАН v5.7.1 [3]. В качестве опорных данных используются выборка [11] (Sentinel-2 MSI, вся территория России, 2020 г.) и контуры пройденных огнём участков (2010–2024 гг.), выделенных экспертами по снимкам Landsat/Sentinel-2 MSI в ходе эксплуатации системы ИСДМ-Рослесхоз [1, п. 2.3; 2; 5].

В рамках работы были выполнены следующие исследования:

1. Выполнена оценка систематической ошибки определения площади затронутых огнём участков в опорной выборке [11], связанной с наличием невыгоревших «островов» внутри выделенных контуров
2. Проведена оценка эффективности алгоритмов рассмотренных продуктов ДЗЗ на основе критерия близости к границе Парето-оптимума [6]
3. Проведено сравнение точности рассмотренных продуктов ДЗЗ в зависимости от площади отдельных повреждённых участков и типа растительного покрова
4. Рассчитаны подробные характеристики ложно выявленных и пропущенных площадей повреждённых участков.

Работа выполняется при поддержке Минобрнауки РФ (тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8) с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» [4].

Литература:

1. Барталев С. А., Егоров В. А., Ефремов В. Ю., Лупян Е. А., Стыщенко Ф. В., Флитман Е. В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 9–26.
2. Барталев С. А., Лупян Е. А., Стыщенко Ф. В., Панова О. Ю., Ефремов В. Ю. Экспресс-картографирование повреждений лесов России пожарами по спутниковым данным Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 1. С. 9–20.
3. 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.

4. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А. и др. 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.

5. Стыценко Ф. В., Барталев С. А., Иванова А. А. и др. Возможности оценки площадей лесных пожаров в регионах России на основе данных спутникового детектирования активного горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 6. С. 189–298. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-289-298.

6. Boschetti L., Flasse S. P., Brivio P. A. Analysis of the conflict between omission and commission in low spatial resolution dichotomic thematic products: The Pareto Boundary // Remote Sensing of Environment. 2004. V. 91. Issue 3–4. P. 280–292. DOI: 10.1016/j.rse.2004.02.015.

7. Campagnolo M. L., Libonati R., Rodrigues J. A., Pereira J. M. C. A comprehensive characterization of MODIS daily burned area mapping accuracy across fire sizes in tropical savannas // Remote Sensing of Environment. V. 252. 2021. Article 112115. DOI: 10.1016/j.rse.2020.112115.

8. Franquesa M., Stehman S. V., Chuvieco E. Assessment and characterization of sources of error impacting the accuracy of global burned area products // Remote Sensing of Environment. V. 280. 2022. Article 113214. DOI: 10.1016/j.rse.2022.113214.

9. Giglio L., Boschetti L., Roy D. P. et al. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product // Remote Sensing of Environment. 2018. V. 217. P. 72–85. DOI: 10.1016/j.rse.2018.08.005.

10. Giglio L., Hall J. V., Humber M., Argueta F., Boschetti L., Roy D. P. Collection 2 VIIRS Burned Area Product User's Guide. Version 1.1. 2024. 32 p.

https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/archive/Document Archive/Science Data Product Documentation/VIIRS_C2_BA_User_Guide_1.1.pdf

11. Glushkov I., Zhuravleva I., McCarty J. L. et al. Spring fires in Russia: results from participatory burned area mapping with Sentinel-2 imagery // Environmental Research Letters. 2021. V. 16. Issue 12. Article 125005. DOI: 10.1088/1748-9326/ac3287.

12. Kolden C. A., Lutz J. A., Key C. H. et al. Mapped versus actual burned area within wildfire perimeters: Characterizing the unburned // Forest Ecology and Management. 2012. V. 286. P. 38–47. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.08.020.

13. Lizundia-Loiola, J., Oton, G., Ramo, R., Chuvieco, E. A spatio-temporal active-fire clustering approach for global burned area mapping at 250 m from MODIS data // Remote Sensing of Environment. 2020. V. 236. Article 111493. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111493.

14. Lizundia-Loiola, J., Franquesa, M., Khairoun, A., Chuvieco, E. Global burned area mapping from Sentinel-3 Synergy and VIIRS active fires // Remote Sensing of Environment. 2022. V. 282. Article 113298. DOI: 10.1016/j.rse.2022.113298.

15. Oliva P., Martín P., Chuvieco E. Burned area mapping with MERIS postfire image // International Journal of Remote Sensing. V. 32. Issue 15. P. 4175–4201. DOI: 10.1080/01431161.2010.489062.

16. Sparks A. M., Boschetti L., Smith A. M. S. et al. An accuracy assessment of the MTBS burned area product for shrub–steppe fires in the northern Great Basin, United States // International Journal of Wildland Fire. 2015. V. 24. P. 70–78. DOI: 10.1071/WF14131.

17. Zhu C., Kobayashi H., Kanaya Y., Saito M. Size-dependent validation of MODIS MCD64A1 burned area over six vegetation types in boreal Eurasia: Large underestimation in croplands // Nature Scientific Reports. 2017. V.7. Issue 1. Article 4181. DOI: 10.1038/s41598-017-03739-0.

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСА СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ ЛЕСОВ РОССИИ

Михайлов Н.В., Хвостиков С.А., Барталев С.А.

Институт космических исследований РАН

Запас лесов является важной характеристикой состояния экосистем, необходимой, в том числе для оценки запаса и бюджета углерода наземной биомассы, и которую можно определить с помощью методов дистанционного зондирования. Доклад посвящен разработке и исследованию методов глубокого машинного обучения для оценки запаса стволовой древесины лесов. В докладе описаны результаты экспериментов по использованию модели глубокой нейронной сверточной сети, основанной на архитектуре U-Net [1] с некоторыми модификациями для предсказания запаса леса по спектральным признакам, отражающим сезонные изменения и динамику лесного покрова.

Для оценки запасов лесов архитектура модели U-net была адаптирована для решения задачи регрессии, с учетом некоторых особенностей используемых данных. Сеть обучалась методом стохастического градиентного спуска на основе входных изображений-признаков и соответствующих данных запасов.

В качестве признаков для обучения модели были использованы ежедневные композитные изображения MODIS, полученные на основе методов фильтрации и интерполяции, разработанных в ИКИ РАН [2]. В частности, использовались коэффициенты спектральной яркости в видимом, ближнем ИК и среднем ИК каналах MODIS, полученные в течение вегетационного периода с 1 июня по 15 сентября 2010 года с шагом 15 дней. Также использовалось сочетание красного и ближнего инфракрасного композита MODIS за зимний сезон 2010-2011 года.

В результате проведенных исследований была создана экспериментальная база для применения методов глубокого машинного обучения для определения запаса лесов. Построенная модель сравнивалась с полученными ранее результатами оценка запаса на основе метода градиентного бустинга LightGBM. Результат применения модели на территорию страны получается менее зашумленным и более сглаженным, что является особенностью семейства сверточной модели. Модель лучше обрабатывает места с низкими значениями и улучшает точность оценки характеристик лесов. Также модель способна лучше воспроизводить высокие значения запаса, присутствующие в исходной обучающей выборке. Полученные для 2010 года результаты далее могут использоваться для воссоздания временного ряда запаса стволовой древесины за период с 2001 по 2024 годы на основе инвариантных спутниковых индикаторов.

Работа выполнена в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация №122042500031-8). Обработка данных ДЗЗ проводилась с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» [3].

Литература:

1. Huang H. et al. Unet 3+: A full-scale connected unet for medical image segmentation // ICASSP 2020-2020 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP). – IEEE, 2020. – С. 1055-1059.
2. Миклашевич Т. С., Барталев С. А., Плотников Д. Е. Интерполяционный алгоритм

восстановления длинных временных рядов данных спутниковых наблюдений растительного покрова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т. 16. – №. 6. – С. 143-154.

3. 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.

ОБЗОР РАБОТ В ОБЛАСТИ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ТИПОВ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Мятлев А.А.¹, Колобахин М.Ю.¹, Кашницкий А.В.²

¹ *Факультет космических исследований МГУ имени М.В.Ломоносова*

² *Институт космических исследований РАН*

Карты земного покрова играют важную роль в понимании как антропогенных, так и естественных процессов, происходящих на поверхности Земли. Наличие таких карт позволяет принимать обоснованные управленческие решения в целом ряде направлений, таких как сельское хозяйство, планирование землепользования, охрана природы, моделирование климата, управление водными ресурсами и т.д. Такие карты должны быть достаточно точными и актуальными для понимания и эффективного решения проблем, связанных с экологическими изменениями. Последние достижения в области получения и обработки спутниковых данных, включая широкое использование методов машинного обучения, открыли новую эру картографирования земельного покрова на основе данных дистанционного зондирования.

В частности, авторами данной работы решается задача получения точных и актуальных ежегодных карт на территорию России по шести основным классам: "Лесные земли", "Возделываемые земли", "Пастбища", "Водно-болотные угодья", "Поселения" и "Прочие земли". Такие карты необходимы для автоматизированной оценки значений площадей ежегодных преобразований между категориями землепользования в интересах расчёта выбросов и поглощений парниковых газов в секторе землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства. Полученные с их помощью оценки предполагается использовать при передаче информации в национальный кадастр парниковых газов.

Первым этапом работы стал обзор существующих карт и методов их получения по информации дистанционного зондирования. В рамках исследования было изучено более двух десятков доступных продуктов. В обзор попали работы и карты, удовлетворяющие следующим критериям: наличие подходящих классов и глобальный или региональный охват, соизмеримый России, со схожими классами ландшафтного покрова.

В докладе представлены результаты проведенного обзора, а также ключевые параметры всех карт и методов их получения. В том числе для каждой приведены доступность данных, на основе каких спутниковых системы получена, пространственное разрешение, территориальный охват, временной период, обновляемость, количество и состав классов, модель классификации и оценка точности.

ВОЗМОЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ И ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ СЪЕМОК ДЗЗ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ПОЧВЕННОГО СЛОЯ ПРИ НАЗЕМНЫХ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Непеина К.С.

Научная станция РАН в г. Бишкеке

Электросопротивление почв зависит от различных факторов, включая влажность почвы, температуру, содержание солей и минералов, структуру почвы и другие. Обычно при наземных измерениях считается, что сопротивление заземляющего устройства зависит от удельного сопротивления грунта, что фактически связано с климатическими условиями региона. Метеорологические условия, такие как количество осадков, температура и влажность воздуха, могут в определенной степени влиять на электросопротивление почв. Также изменения температуры и содержание солей в почве могут повлиять на электросопротивление. Эти колебания могут быть значительными в течение дня, сезона и года, что необходимо учитывать при интерпретации результатов измерений электросопротивления при построении глубинных геоэлектрических моделей.

Для проверки гипотезы влияния климатических параметров на результаты измерений выбран участок в предгорьях Киргизского хребта вблизи с. Норус (Нооруз) Иссык-Атинского района – миниполигон Кентор. Для изучения выбрана центральная точка миниполигона. Отрезок наблюдений - между маем и октябрём 2024 г., так как весенняя сессия пришлась на третью неделю мая с 14 числа, а осенняя – на 10-16 сентября.

Оценивая спектральные характеристики по данным Sentinel-2, можно судить о том, что получаемая кривая для центра миниполигона соответствует классу почвы (soil, brown sand) по данным USGS Spectral Library, ECOSTRESS Spectral Library (NASA). Это совпадает с условиями проведения электромагнитных зондирований на миниполигоне, для которых необходим рыхлый грунт для заземления неполяризующихся электродов и прикапывания индукционных датчиков.

Для анализа влажности стоит выбрать нормализованный разностный индекс влажности (англ. Normalized Difference Moisture Index, NDMI или MI), определяющий уровень содержания влаги по данным спутника Sentinel-2. Для анализа температурных колебаний следует обратиться к каналам спутника Landsat-9. Один из сенсоров – Thermal InfraRed Sensor (TIRS) – работает в длинноволновом инфракрасном диапазоне и регистрирует поток теплового излучения и способен измерять колебания температуры земной поверхности. Каналы Landsat-8 и 9 получают изображения с умеренным разрешением – от 15 м до 100 м на пиксель. В данном случае сосредоточимся на обобщенной оценке для уточнения размаха температурных колебаний в зависимости от сезона.

Основные ограничения, которые были приняты для корректности выводов, это установления порога облачности на уровне не более 50% и перекрытия тайлов (снимков) не менее 70%.

Благодарности

Автор благодарит НИУ ВШЭ в лице Деркачевой Анны Андреевны за консультации и предоставление инструментов для анализа данных ДЗЗ.

Литература:

Курьянович М.Ф., Давидович Ю.С., Шалькевич Ф.Е. Использование инфракрасных тепловых космических снимков для изучения почвенного покрова. Почвоведение и агрохимия. 2022;¹:21-31. [https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-21-31](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-21-31)

АНОМАЛИИ СЕНТЯБРЬСКОГО МИНИМУМА ХАРАКТЕРИСТИК ЛЬДА ПО МОДЕЛЬНЫМ И СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИМСЯ В РЕАНАЛИЗЕ

Романенко В.А.^{1,2}, Семенов В.А.^{1,3}

¹ *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН*

² *МГУ имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский вычислительный центр*

³ *Институт географии РАН*

Изменения в площади арктического морского льда изучены по данным климатических моделей проекта CMIP6 и по данным реанализа ERA5.

Большинство моделей воспроизводит довольно резкое сокращение площади ледяного покрова к 2020г., причем в сентябре оно сильнее, чем в марте. По некоторым моделям видно, что к концу рассматриваемого периода значительная часть Арктики станет свободной ото льда.

Наибольшая площадь льда наблюдается в восточно-сибирском и североамериканском секторах, где отсутствует отепляющее влияние теплых течений, а, например, в районах Гренландии и Канадского арктического архипелага протекают ветви холодного Трансарктического течения, там ледяной покров наблюдается даже в сентябре. В Норвежском, Баренцевом и Карском морях, в результате действия теплого течения Гольфстрим и его различных ветвей, площадь льда минимальна, либо вовсе отсутствует как в сентябре, так и в марте.

В марте наблюдается повсеместное снижение площади ледяного покрова равными темпами на всей акватории Арктики. В сентябре темп снижения площади льда выше, чем в марте. Зона наиболее ускоренного таяния наблюдается в восточно-сибирской и североамериканской акваториях Арктики, где и так максимальное сосредоточение льда.

Среднеансамблевая площадь морского льда воспроизводит близкий к линейному отрицательный тренд за период 1980-2020 годов и не демонстрирует ускоренное таяние в начале 20-го века. Модели DCPP показывают значительно лучшее соответствие с данными наблюдений, включая воспроизведение ускорения таяния льда в марте в начале 20-го века. В работе также проанализирована рекордно низкая площадь морского льда в сентябре 2012 года, наряду с аналогичными минимумами в климатических моделях за тот же период. Обнаружено, что как наблюдаемые, так и моделируемые минимумы морского льда связаны с определенной атмосферной циркуляцией в предшествующем августе – диполем давления с циклоном над Северным Ледовитым океаном и антициклоном над северной частью Тихого океана. Предполагается, что такая циркуляция способствовала ускоренному таянию морского льда как динамически, так и термодинамически.

Распределение периодов минимальных значений площади льда в Арктике по годам по моделям CMIP6 за 1980 – 2024 гг. показывает, что большинство моделей воспроизводит минимальную площадь льда после 2020 года. Начиная с 2030-х гг. большинство моделей демонстрирует ускоренное таяние ледяного покрова.

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ РАЗНЫХ МЕТОДОВ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СГЛАЖИВАНИЯ МНОГОЛЕТНИХ РЯДОВ ЗАПАСА СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ДАННЫМ ДЗЗ

Савкин В.О.

Институт космических исследований РАН

В данной работе рассматривается фильтрация и сглаживание временных рядов запасов стволовой древесины, получаемых на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в Институте космических исследований РАН [1]. Динамика запаса древесины играет ключевую роль в лесном хозяйстве, оценке состояния лесов и определении углеродного бюджета страны. Однако погрешность в оценке запаса (10%) превышает типичный ежегодный прирост, что делает необходимым анализ изменений за период с 2002 по 2023 годы с использованием различных методов фильтрации.

Работа предлагает сравнение множества методов сглаживания временных рядов, включая как простые, так и более сложные подходы. К числу примитивных методов относятся Фурье-преобразование, регрессионный анализ и фильтр Вайттеккера. Также были рассмотрены более сложные методы, такие как фильтр Савитского-Голея, ассиметричный Гауссиан и фильтр скользящей регрессии. Среди других подходов выделяются фильтры Бокса-Дженкинса, Годрика-Прескотта и Кристиано-Фитцджеральда, а также обучающиеся методы, такие как конволюционный и фенологические фильтры.

Особое внимание уделяется робастным методам, среди которых выделяется фильтр Калмана. Этот метод, основанный на адаптивном подходе, учитывает динамику системы и позволяет эффективно отделять фактические изменения от случайного шума. В процессе работы были проведены модификации фильтра Калмана, включая определение стартового состояния системы и введение переменной для контроля степени робастности алгоритма.

Результаты анализа показали, что фильтр Калмана демонстрирует значительные преимущества по сравнению с другими методами сглаживания. Его адаптивность и устойчивость к выбросам делают его более надежным инструментом для анализа временных рядов запасов древесины. Таким образом, применение фильтра Калмана позволяет значительно улучшить качество сглаживания и повысить точность оценки динамики запасов стволовой древесины.

Работа выполнена в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация №122042500031-8). Спутниковые оценки запаса стволовой древесины были получены с помощью Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» [2].

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. Лупян Е.А и др., 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.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК НАРУШЕННЫХ ПОЖАРАМИ ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА LIGHTGBM

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

Институт космических исследований РАН

Проведены исследования возможности картографирования характеристик нарушенных пожарами лесов на основе спутниковых данных Sentinel-2 с пространственным разрешением 10-20 м. В работе были использованы результаты наземных обследований территории тестовых полигонов, с определением характеристик лесного покрова, в частности категории санитарного состояния отдельных деревьев, на основе которых могут быть определены характеристики повреждения древостоя в целом, такие как степень усыхания (СУ) и средневзвешенная категория состояния (СКС). Для оценки этих показателей на основе спутниковых данных использовались методы машинного обучения, а именно метод случайного леса (Random forest) и алгоритм градиентного бустинга (Light Gradient Boosted Machine (далее — LightGBM)). Выполненные эксперименты показали возможность оценки СКС и СУ. Наилучший результат получен при использовании метода LightGBM с использованием в качестве признаков значений коэффициента спектральной яркости в ближней и средней ИК областях спектра (0.84 и 1.61 мкм) после воздействия огня, при этом значения коэффициента детерминации составило $R^2=0.88$ и $R^2=0.89$ соответственно. Таким образом, для полигонов с нарушенными пожарами лесами были сформированы обновленные карты показателей СУ и СКС с пространственным разрешением 10 м.

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» (госрегистрация № 124060500032-7). Использовалась инфраструктура хранения и обработки спутниковых данных Центра коллективного пользования "ИКИ-Мониторинг" (Лупян и др., 2019).

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.

МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ЗАБРОШЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЗЕМЛИ НА ПРИБРЕЖНЫХ РАВНИНАХ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ SENTINEL-2

Фам Д.Х.

Московский государственный университет геодезии и картографии

Под воздействием урбанизации площадь заброшенных сельскохозяйственных земель во Вьетнаме увеличивается. Выявление заброшенных территорий является актуальным вопросом для управления и разработки политики.

Это исследование проводилось в городе Хайфон, расположенном на севере Вьетнама. Автор использовал изображения Sentinel-2 для расчета более 170 спектральных показателей, затем выбрал наилучшую трехканальную цветовую комбинацию, которая поможет выделить участки с травой, растущей на влажной почве — признак заброшенной земли сельского назначения. Для повышения точности автор рассмотрел некоторые примечания при выборе времени года, вместе с данными о высотах и кадастровыми картами.

Данная методика открывает возможность оперативного определения динамики землепользования в быстро развивающихся городах, особенно на прибрежных равнинах, как северно-восточном Вьетнаме.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ЦВЕТОВОЙ КОРРЕКЦИИ

Черноусова П.Е., Горьковец Н.С., Бобров И.Л.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

При анализе спутниковых снимков низкого разрешения могут возникнуть проблемы из-за низкой детализации и неоднородных помех, поэтому необходима глубокая предобработка изображений и усиление полезных признаков.

Исходные данные для исследования являются снимки с разрешением более 100 метров на пиксель, полученные с малых космических аппаратов. Исходные изображения находятся преимущественно в синем оттенке с видимыми структурами, общая контрастность низкая.

С целью улучшения детализации и повышения читаемости снимка было протестировано несколько методов предобработки:

- метод глобального выравнивания;
- метод SLANE (адаптивное выравнивание);
- комбинированный метод из SLANE и билатеральной фильтрации;
- метод повышения резкости путём вычитания из обработанных ранее снимков исходного.

Результаты обработки были оценены и сравнены с исходным снимком. Для количественной оценки получившихся результатов были использованы следующие метрики:

- контраст (стандартное отклонение яркости);
- энтропия;
- градиентная величина для оценки резкости;
- дисперсия Лапласиана, для оценки детализации снимка.

Проанализировав результат, было выявлено, что глобальное выравнивание гистограммы значительно повышает контраст и энтропию снимка, но может создавать неестественные цвета и добавлять артефакты. Метод SLANE даёт более сбалансированный результат с умеренным контрастом и хорошей энтропией, сохраняя более естественный вид. Повышение резкости с глобальным выравниванием обеспечивает снимку максимальный контраст и детализацию, но с риском появления артефактов. Повышение резкости с SLANE представляет собой компромисс между хорошей детализацией и более естественным видом.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МЕТОДИКИ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЗАСУХИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДЗЗ ИЗ КОСМОСА

Чумарев И.С.

Московский государственный университет геодезии и картографии

Основным результатом исследования является алгоритм автоматизированной методики мониторинга сельскохозяйственной засухи. Методика реализуется посредством следующих программных продуктов: Google Earth Engine для загрузки рядов показателей и индексов сельскохозяйственной засухи, Microsoft Excel для проведения корреляционного анализа, pandas для автоматизации анализа, Tableau Public для графической визуализации результатов, Google Earth Engine и/или QGIS для картографической визуализации результатов.

Этап 1. Определение, характеристика и сегментация области исследования. Производится выбор территории исследования и её районирование. Сбор информации о доступных данных ДЗЗ, климате, с/х, засушливых периодах.

Этап 2. Формирование требований к наборам пространственных данных для выявления сельскохозяйственной засухи. Пространственным данным выдвигаются требования по пространственному разрешению, темпу обновления, спектральным характеристикам, продолжительности наблюдений.

Этап 3. Идентификация наборов пространственных данных, соответствующих выдвинутым требованиям. Для общей территории и каждого района извлекается максимально полный набор информации о показателях сельскохозяйственной засухи, а именно о суммах атмосферных осадков, температуре приземного слоя воздуха, действительной эвапотранспирации, температуре земной поверхности, влажности почвы, площади поверхностных вод, общем объеме вод или объеме грунтовых вод, площади снежного и ледникового покрова, состоянии растительного покрова, типах и свойствах растительного покрова, прочие данные. Одновременно осуществляется выгрузка данных об урожайности с/х-культур.

Этап 4. Идентификация засушливых периодов. Осуществляется регрессионный анализ пар временных рядов факторов показателей сельскохозяйственной засухи и архивов урожайности сельскохозяйственных культур. Для периодов, отмеченных высоким уровнем корреляции между низкими значениями урожайности сельскохозяйственных культур и наиболее неблагоприятными значениями показателей сельскохозяйственной засухи, делается вывод о том, что соответствующий период был засушливым.

Этап 5. Расчёт показателей и индексов сельскохозяйственной засухи. Производится выгрузка показателей и расчёт индексов сельскохозяйственной засухи, идентифицированных на этапе идентификации засушливых периодов. В зависимости от степени доступности данных для исследуемого периода, в перечень индексов могут входить классические индексы засухи (SPI, SPEI, PDSI, ГТК Селянинова), индексы состояния растительного покрова (NDVI, VCI, TCI, VHI), индексы влажности почвы (SMA, SMI, MPDI), индексы площади поверхностных водоёмов и содержания влаги (NDWI, LSWI), индексы грунтовых вод (GVDI), смешанные индексы (TVDI, NMDI).

Производится кросс-корреляционный анализ для каждого временного промежутка, идентифицированного как засушливый. Данный тип корреляционного анализа учитыва-

ет нелинейный характер влияние факторов сельскохозяйственной засухи на урожайность культур, а также отложенный характер их воздействия. По результатам анализа выявляются показатели, оказывающие наибольшее влияние на рассматриваемую культуру.

Этап 6. Верификация результатов исследования. Сравнение полученных оценок с объективными данными, а именно документальными свидетельствами о наличии засухи в данный период, с целью подтверждения достоверности анализа.

Этап 7. Представление и анализ результатов. Результаты исследования представляются в виде карт, графиков, матриц коэффициентов корреляции и текстовых пояснений.

Направления для последующего исследования.

Последующие стадии исследования будут направлены на экспериментальную апробацию методики выявления сельскохозяйственной засухи посредством анализа данных ДЗЗ из космоса на территории Киргизской Республики, в т.ч. для её отдельных областей. Промежуточными результатами также могут стать:

1. Усовершенствование алгоритма разрабатываемой методики с учётом особенностей и ограничений, выявленных в ходе эксперимента.
2. Анализ существующих методов выявления сельскохозяйственной засухи, их оценка.
3. Многокритериальный анализ соответствующих выбранным на данном этапе системам наборов пространственных данных, включая специализированные тематические продукты.
4. Сбор и анализ лучших практик картографического обеспечения для наглядного представления феномена засухи.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CUBESAT ДЛЯ ПЛАНЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Рочуа Latifyan

Пекинский университет авиации и астронавтики (BUAA)

В современной космической науке малые спутники формата CubeSat становятся всё более важным инструментом для исследования планет Солнечной системы. Благодаря своей компактности, низкой стоимости запуска и гибкости в использовании, CubeSat открывают уникальные возможности для проведения научных миссий, которые ранее были недоступны из-за высоких затрат и технических ограничений.

Основными преимуществами CubeSat являются их модульность и возможность работы в составе группировок (swarm). Это позволяет проводить комплексные исследования различных объектов – от атмосферы Земли до удалённых спутников планет-гигантов. Например, CubeSat могут быть использованы для изучения магнитосферы Марса, анализа химического состава ледников Европы или исследования радиационной обстановки в окрестностях Юпитера.

Одним из ключевых направлений применения CubeSat является поддержка основных космических миссий. Они могут выполнять роль дополнительных платформ для размещения научных приборов, обеспечивать связь с крупными аппаратами или проводить предварительную разведку целевых областей перед высадкой посадочных модулей. В частности, проект NASA Mars Cube One (MarCO), успешно реализованный в 2018 году, продемонстрировал эффективность использования CubeSat для мониторинга посадки марсохода InSight.

Современные технологии позволяют оснащать CubeSat миниатюрными, но высокоэффективными приборами, такими как спектрометры, камеры высокого разрешения и датчики магнитных полей. Это делает возможным проведение фундаментальных исследований даже на таких малых платформах. Кроме того, развитие методов автономного управления и энергообеспечения значительно расширяет диапазон задач, доступных для CubeSat.

В России активно развиваются программы по созданию CubeSat для планетных исследований. Институт космических исследований РАН рассматривает возможность внедрения данной технологии в рамках будущих межпланетных миссий, включая изучение Луны, Венеры и других объектов Солнечной системы. Участие молодых учёных и студентов в разработке CubeSat способствует развитию новых подходов к решению сложных научных задач и подготовке следующего поколения специалистов.

В рамках конференции планируется обсудить текущие достижения в области создания и применения CubeSat, а также определить стратегические направления их использования для планетных исследований. Особое внимание будет уделено вопросам международного сотрудничества и кооперации в разработке инновационных технологий.

ИССЛЕДОВАНИЕ АРТЕФАКТОВ В ОТОБРАЖЕНИИ МАЛЫХ УДАРНЫХ КРАТЕРОВ МОРЯ ВОСТОЧНОГО НА КАРТЕ LQM, ОБНАРУЖЕННЫХ В ПРОЕКЦИИ LUNAR GLOBE (3D) В РЕЖИМЕ «ОБЛЕТА ВЫБРАННОЙ ТОЧКИ»

Архипова А.А., Уленгов М.А., Шпекин М.И.

Казанский федеральный университет

В докладе рассмотрены артефакты обнаруженные в ходе работы авторов с картой Lunar QuickMap (LQM). Эту карту, созданную американской корпорацией АСТ около 10 лет тому назад, авторы доклада использовали для обследования ряда малых молодых ударных кратеров в целях поиска кратеров с необычным строением дна. Ранее такие кратеры были обнаружены в нескольких регионах Луны [1]. Часть их них расположена на обширной территории дна моря Восточного, одного из самых молодых морей на Луне. Авторы предприняли попытку более детального обследования двух таких кратеров к востоку от кратера Маундер. В задачу обследования входило строение элементов рельефа не только на дне кратеров, но и на других участках. В частности, для обследования валов кратеров и их склонов авторы воспользовались возможностью карты LQM просматривать лунную поверхность в режиме «облета выбранной точки» в проекции Lunar Globe (3D). Этот режим и такая проекция позволяют изучать элементы лунного рельефа с разных сторон, в разных масштабах и высоком разрешении. В процессе такого обследования на внутреннем склоне одного из кратеров (15.3S, 269.2W, D=6 км), хорошо освещенном солнцем, вблизи гребня вала авторы заметили необычный объект похожий на «одинокую стоящую высокую острую вертикальную симметричную стелу или башню». Наличие такого необычного объекта, издавна напоминающего «свечку, установленную на внутреннем склоне» этого кратера, показалось авторам настолько невероятным, что не укладывалось ни в какие общепринятые представления о строении склонов ударных кратеров. Авторы первым делом провели замеры найденной высокой «свечки» с помощью инструмента «Дуга» и обнаружили, что ее высота от подножья до вершины составляет около 400 метров, а диаметр основания около 135 метров. Во втором кратере (14.5S, 269.6W, D=3 км), также на его внутреннем склоне, была найдена еще одна «свечка». Здесь она находится в тени, но нам все же удалось оценить ее высоту, которая составила около 350 метров. В докладе изучается возможная интерпретация найденных объектов, а также поиск алгоритма, который позволил бы доказать или опровергнуть существование описанных артефактов.

M.I. Shpekin, R.T. Ferreyra Lunar craters without signs of the matter melting and the matter emissions // The Fifteenth Mosc. Solar Syst. Symp. 15M-S3 October 21-25, 2024. Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia. Book of Abstracts, 370 p., M., pages 154-155. https://ms2024.cosmos.ru/docs/2024/15-MS3_Abstract_Book-10-18.pdf

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ ВОДЫ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЛАСТЯХ ВДОЛЬ ТРАССЫ ДВИЖЕНИЯ МАРСОХОДА «КЬЮРИОСИТИ» ПО ДАНЫМ ПРИБОРА ДАН

Блажнова С.С.^{1,2}, Литвак М.Л.¹, Головин Д.В.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

Локальные районы современного Марса с повышенным содержанием связанной воды в составе гидратированных минералов представляют особый интерес, так как их состав и распределение в приповерхностном слое грунта может содержать важную информацию об эпохе раннего теплого и влажного Марса. В одном из таких районов, в кратере Гейл, проводит исследования марсоход НАСА «Кьюриосити» [1]. Он поднимается по склону горы Шарп, находящейся в центре кратера состоящей из осадочных отложений разного возраста.

В состав комплекса научной аппаратуры марсохода входит российский прибор ДАН (Динамическое Альбедро Нейтронов), целью которого является оценка распределения подповерхностной воды и хлора вдоль трассы движения марсохода [2,3]. Для представленного в докладе статистического анализа использована совокупность измерений содержания подповерхностной воды, которые сопоставлены со стратиграфической колонкой осадочных отложений и геологических областей, отождествленных научной командой марсохода [4].

Для каждой из 21 геологических областей были построены распределения содержания воды, оценено среднее значение и дисперсия. Установлено, что усредненная по области массовая доля воды увеличивается от $\sim 2\%$ до $\sim 7\%$ по мере подъема марсохода на гору Шарп от начальной высоты -4.5 км до текущей высоты -3.7 км. Такая крупномасштабная корреляция подповерхностной воды с высотой места по всей видимости связана с тем, что наверху находятся более обильные отложения гидратированных минералов в виде глины и сульфатов.

Литература:

1. Grotzinger, J.P., Crisp, J., Vasavada, A. R., Anderson, R.C., Baker, C.J., Barry, R., Blake, D.F., Conrad, P., Edgett, K.S., Ferdowsi, B., Gellert, R., Gilbert, J. B., Golombek, M., Gómez-Elvira, J., Hassler, D.M., Jandura, L., Litvak, M.L., Mahaffy, P., Maki, J., Meyer, M., Malin, M.C., Mitrofanov, I.G., Simmonds, J. J., Vaniman, D., Welch, R. V., Wiens, R. C. (2012), Mars Science Laboratory mission and science investigation. Space Sci. Rev. 170, 5–56. <https://doi.org/10.1007/s11214-012-9892-2>
2. Mitrofanov, I. G., Litvak, M. L., Sanin, A. B., Starr, R. D., Lisov, D. I., Kuzmin, R. O., et al., (2014), Water and chlorine content in the Martian soil along the first 1900 m of the Curiosity rover traverse as estimated by the DAN instrument. Journal of Geophysical Research: Planets, 119(7), 1579–1596. <https://doi.org/10.1002/2013JE004553>
3. Mitrofanov, I.G., Nikiforov, S.Y., Djachkova, V.V., Lisov, D.I., Litvak, M.L., Sanin, A.B., Vasavada, A.R. (2023), Water and chlorine in the Martian subsurface along the traverse of NASA's Curiosity rover, Part I: DAN measurement profiles along the traverse, Journal of Geophysical Research: Planets, <https://doi.org/10.1029/2022JE007327>

4. Fedo, C. M., Bryk, A. B., Edgar, L. A., Bennett, K. A., Fox, V. K., Dietrich, W. E., et al. (2022). Geology and stratigraphic correlation of the Murray and Carolyn Shoemaker formations across the Glen Torridon region, Gale crater, Mars. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 127, e2022JE007408. <https://doi.org/10.1029/2022JE007408>

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ВЕНЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО

Боронин И.А., Гудкова Т.В.

Институт физики Земли РАН

Для расчета параметров внутреннего строения планеты Венера применяется метод Монте-Карло с применением цепей Марков (МСМС) [1, 2]. Рассматривается Байесовский подход к статистике, который позволяет уточнить вероятность какого-либо события, взяв в расчет, как модельные данные, так и данные наблюдений. Метод был апробирован на модельном примере инверсии данных гравитационного поля условной планеты, который заключался в построении распределения значений функции плотности от глубины при условии как модельных допущений, которые должны быть выполнены, так и наличия измерений некоторых параметров.

В качестве данных измерений планеты Венера выбираются: средний радиус $R = 6051.8 \pm 1$ км, средняя плотность $\rho = 5242.7 \pm 2.6$ кг/м³, нормализованный момент инерции $I/MR^2 = 0.33 \pm 0.0165$ и приливное число Лява второго порядка $k_2 = 0.295 \pm 0.066$. Задача заключается в исследовании всевозможных моделей планеты Венера, которые удовлетворяют описанным выше измерениям с учетом погрешности.

Рассматривается сферически симметричная изотропная модель планеты Венера, находящаяся в гидростатическом равновесии. Предполагается, что модель состоит из 3х слоев: жидкое ядро, вязкая мантия и твердая кора. Параметры каждого слоя: радиус, средняя плотность, вязкость и скорости продольных и поперечных волн. На границе слоев параметры терпят разрыв (меняются скачком), внутри каждого слоя функция зависимости исследуемых параметров от радиуса является либо непрерывной, либо константой. В качестве априорной вероятности распределения каждого из параметров всех слоев принимается равномерное распределение. Для построения апостериорного распределения используется формула Байеса. Алгоритм семплирования метода Монте-Карло реализуется с применением функции правдоподобия [1, 2] на основе алгоритма Метрополиса-Гастингс.

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования ИФЗ РАН.

Список литературы:

1. Mosegaard K., Tarantola A, Monte Carlo sampling of solutions to inverse problems // J. Geophys. Res. 1995. V. 100, N B7, P. 12431-12447.
2. Xiao C., Li F., Yan J.-G., Hao W.-F., Harada Y., Ye M., Barriot J.-P. Inversion of Venus internal structure based on geodetic data // Research in astronomy and astrophysics. 2020. V. 20 (8). P.127-141.

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ВЕНЕРЫ В ОКНЕ ПРОЗРАЧНОСТИ 0.8-1 МКМ ПО ДАННЫМ СПИКАВ-ИК КА "ВЕНЕРА-ЭКСПРЕСС"

Ведерников М.А.^{1,2}, Евдокимова Д.Г.¹, Федорова А.А.¹,
Кораблев О.И.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

Оптически толстый слой H_2SO_4 облаков и плотная CO_2 атмосфера затрудняют дистанционное исследование поверхности Венеры. Однако в инфракрасном (ИК) диапазоне существует несколько узких спектральных интервалов, называемых “окнами прозрачности”, в которых поглощение CO_2 относительно мало, позволяя наблюдать тепловое излучение поверхности и подоблачной атмосферы планеты.

На основе этих наблюдений возможно восстановить, в частности, содержание водяного пара в нижних слоях атмосферы и оптическую толщину облачного слоя. Более детальное исследование требуется, чтобы установить возможность восстановления температуры поверхности.

В данной работе обрабатываются спектры в диапазоне 0.8-1 мкм, полученные инфракрасным спектрометром СПИКАВ-ИК (англ., SPICAV - SPectroscopy for the Investigation of the Characteristics of the Atmosphere of Venus), производившим наблюдения ночной стороны Венеры с 2006 по 2014 год в спектральном диапазоне от 0.65 до 1.7 мкм с разрешением ~ 1 нм. Исследуемый спектральный диапазон содержит окна прозрачности 0.85, 0.9 и 1 мкм, представляющие особый интерес из-за доминирования в них теплового излучения поверхности. Окно прозрачности 0.9 мкм включает в себя полосу поглощения водяного пара.

Экспериментальные данные описываются с помощью модели переноса теплового излучения от поверхности Венеры к верхним слоям атмосферы. Уравнение решается численно методом дискретных ординат в псевдо-сферическом приближении с помощью программного пакета DISORT, позволяющего учесть многократное рассеяние, характерное для плотных атмосфер. Профиль температуры и давления задается из базы данных VIRА, основанной на данных спускаемых аппаратов. Коэффициенты поглощения для CO_2 были вычислены с использованием спектроскопической базы данных HITEMP2024, BT2 для H_2O и HITRAN2020 для HDO. Распределение аэрозольных частиц в облачном слое было задано согласно Haus et al., 2016, и аэрозольные частицы были приняты сферическими и состоящими из 75%-раствора H_2SO_4 . Данные СПИКАВ-ИК в диапазоне 0.8-0.9 мкм обрабатываются впервые.

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

Литература:

1. Barber, R.J., Tennyson, J., Harris, G.J., & Tolchenov, R.N. (2006). A high-accuracy computed water line list.
2. Gordon, I.E., Rothman, L.S., Hargreaves, E.R., Hashemi, R., Karlovets, E. V., Skinner, F.M., ... & Yurchenko, S. N. (2022). The HITRAN2020 molecular spectroscopic database.
3. Haus, R., Kappel, D., Tellmann, S., Arnold, G., Piccioni, G., Drossart, P., & Häusler, B. (2016). Radiative energy balance of Venus based on improved models of the middle and lower atmosphere. Korablev, O., Fedorova, A., Bertaux, J.L., Stepanov, A.V., Kiselev, A.,

Kalinnikov, Y.K., ... & Neefs, E. (2012). SPICAV IR acousto-optic spectrometer experiment on Venus Express.

4. Hargreaves, R.J., Gordon, I.E., Huang, X., Toon, G.C., & Rothman, L.S. (2025). Updating the carbon dioxide line list in HITEMP.

5. Meadows, V.S., & Crisp, D. (1996). Ground-based near-infrared observations of the Venus nightside: The thermal structure and water abundance near the surface.

6. Seiff, A., Schofield, J.T., Kliore, A.J., Taylor, F.W., Limaye, S.S., Revercomb, H.E., ... & Marov, M.Y. (1985). Models of the structure of the atmosphere of Venus from the surface to 100 kilometers altitude.

7. Stamnes, K., Tsay, S. C., Wiscombe, W., & Laszlo, I. (2000). DISORT, a general-purpose Fortran program for discrete-ordinate-method radiative transfer in scattering and emitting layered media: documentation of methodology.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА МОДЕЛИ МАОАМ С ДАННЫМИ ACS

Жарикова М.С.^{1,2}, Медведев А.С.², Федорова А.А.¹,
Беляев Д.А.¹, Шапошников Д.С.^{1,4}, Лугинин М.С.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

³ *Институт Макса Планка по Исследованию Солнечной Системы*

⁴ *НИУ Московский физико-технический институт*

В рамках данной работы произведено моделирование водяного цикла на Марсе моделью общей циркуляции атмосферы Марса МАОАМ (Martian Atmosphere: Observation and Modeling) для 34, 35 и 36 Марсианских годов. Будет представлена количественная оценка содержания водяного пара в атмосфере, сезонно-высотные и широтно-высотные распределения, а также распределение температуры. Будут представлены сравнения результатов моделирования с усредненными профилями, полученными спектрометром ACS (Atmospheric Chemistry Suite) с космического аппарата ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO).

Модель МАОАМ успешно предсказывает температурный режим, показывая согласие с наблюдательными данными. Гидродинамический блок модели включает схему переноса, микрофизику водяного пара и льда, гетерогенную нуклеацию, седиментацию, фотодиссоциацию и обмен воды с поверхностью.

Хотя качественно результаты моделирования водяного пара совпадают с экспериментом, тем не менее наблюдается превышение общего содержания водяного пара в модели в сезон $L_s = 240^\circ - 260^\circ$, а в сезон $L_s = 280^\circ - 340^\circ$ модель значительно недооценивает содержание водяного пара в атмосфере.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ МАРСА ПО ДАННЫМ ЗАТМЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

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

¹ НИУ Высшая школа экономики

² Институт космических исследований РАН

В работе исследуются высоты средней и верхней атмосферы Марса, а именно мезосфера (выше 50 км) и термосфера (выше 100-120 км) вплоть до экзобазы для молекулы CO₂ (180-220 км). Эти высоты включают следующие переходные области: мезопаузу, находящуюся на высотах около 80-120 км, где наблюдается температурный минимум, а также гомопаузу, расположенную на 10-20 км выше, в которой атмосфера перестает быть равномерно перемешанной [1]. Вариации высоты и температуры мезо/гомопаузы, а также экзобазы, обусловлены сезонной изменчивостью, солнечной активностью [2], в том числе и вертикальным переносом энергии, вызванным глобальной циркуляцией и атмосферными волнами [3, 4].

В работе представлены результаты измерений вертикального распределения температуры и плотности, полученные с помощью спектрометрического комплекса ACS (Atmospheric Chemistry Suite), установленного на борту ExoMars/TGO [5], а также спектрометра EUVM (Extreme Ultraviolet Monitor) на аппарате миссии MAVEN [6]. С апреля 2018 года канал ACS среднего инфракрасного диапазона (ACS-MIR) осуществляет зондирование атмосферы Марса в диапазоне спектра 2.3-4.2 мкм.

Высокое спектральное разрешение и чувствительность эксперимента позволяют измерять плотность и температуру атмосферы в полосах поглощения углекислого газа около 2.7 мкм на высотах от 10 до 180 км, охватывая слои тропосферы, мезосферы и термосферы [7]. Спектрометр EUVM с сентября 2014 года зондирует термосферу Марса в диапазоне спектра, соответствующем экстремальному ультрафиолету (10 - 121 нм). Высотные профили плотности углекислого газа в интервале 120-200 км были получены из канала Al/Nb/C, рабочий диапазон которого соответствует 17-22 нм, а также включает полосу пропускания в диапазоне 0.1-7 нм. В работе показаны результаты наблюдений спектрометров за следующие временные промежутки: EUVM охватывает 5,5 марсианских лет (MY) – от середины MY32 до конца MY37, и ACS за 2,5 марсианских года – от середины MY34 до конца MY36 – с сезонными и широтными вариациями высоты гомопаузы и экзобазы.

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. Bougher et al., 2015. Mars Global Ionosphere-Thermosphere Model: Solar cycle, seasonal, and diurnal variations of the Mars upper atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 120², 311-342.

3. González-Galindo et al., 2015. Variability of the Martian thermosphere during eight Martian years as simulated by a ground-to-exosphere global circulation model. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 120(11), 2020-2035.

4. Medvedev et al., 2015. Cooling of the Martian thermosphere by CO₂ radiation and gravity waves: An intercomparison study with two general circulation models. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 120(5), 913-927.

5. Korablev et al., 2018. The Atmospheric Chemistry Suite (ACS) of three spectrometers for the ExoMars 2016 trace gas orbiter. *Space Science Reviews*, 214¹.

<https://doi.org/10.1007/s11214-017-0437-6>.

6. Thiemann et al., 2018. Mars Thermospheric Variability Revealed by MAVEN EUVM Solar Occultations: Structure at Aphelion and Perihelion and Response to EUV Forcing. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 123(9). <https://doi.org/10.1029/2018JE005550>.

7. 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>.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ МАРСА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МАНТИИ

Кулик Е.А., Гудкова Т.В.

Институт физики Земли РАН

В настоящей работе выполняется анализ моделей внутреннего строения Марса, построенных для различных модельных химических составов мантии планеты.

Для того, чтобы модели внутреннего строения соответствовали реальным данным о планетах, необходимо накладывать ограничения на модели. Ограничения бывают двух типов. В первую очередь - геофизические, полученные путем наблюдения за Марсом с Земли или из космоса. Среди них, в работе используются средняя плотность планеты, момент инерции, приливное число Лява и чандлеровский период. Второй тип ограничений - полученные путем сейсмического эксперимента непосредственно с поверхности планеты: толщина и плотность коры, толщина слоя расплавленных силикатов на границе ядро-мантия [1], радиус жидкого ядра.

Дополнительным ограничением при моделировании внутреннего строения Марса является выбор геохимической модели мантии. В настоящее время еще не принята единая химическая модель для мантии Марса, вместо этого существует ряд моделей, для каждой из которых не хватает данных для подтверждения или опровержения. Цель этой работы — построить модели внутреннего строения по методу, который ранее использовался авторами в [2], для ряда различных составов мантии, взятых из [3-8], и провести сравнение моделей.

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования ИФЗ РАН.

Литературы:

1. 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.
2. Кулик Е.А., Гудкова Т.В. Влияние неупругости мантии на модельное значение периода чандлеровского колебания Марса // *Астрономический вестник*. 2024. Т. 58. №6. С. 653-664.
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. Morgan J.W., Anders E. Chemical composition of Mars // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1979. V. 43. P. 1601-1610.
5. Lodders K., Fegley Jr.B. An oxygen isotope model for the composition of Mars // *Icarus*. 1997. V. 126. P. 373-394.
6. Sanloup C., Jambon A., Gillet P. A simple chondritic model of Mars // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 1999. V. 112. P. 43-54.
7. Khan A., Connolly J.A.D. Constraining the composition and thermal state of Mars from inversion of geophysical data // *Journal of Geophysical Research: Planets*. 2008. V. 113. E07003.
8. Taylor G.J. The bulk composition of Mars // *Chemie der Erde - Geochemistry*. 2013. V. 73.

ОЧИСТКА СПЕКТРОВ ПОВЕРХНОСТИ МАРСА ПОЛУЧЕННЫХ СПИКАМ-ИК ОТ ВЛИЯНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ

Ломакин А.А., Федорова А.А., Кораблев О.И.

Институт космических исследований РАН

В атмосфере Марса находится много частиц, рассеивающих свет. Отсутствие учета такого рассеяния при наблюдениях в надир в оптическом и ближнем ИК диапазоне влечет за собой систематически неправильное измерение как альbedo поверхности, так и содержания газов в атмосфере. [1, 2]

Ранее мы использовали СПИКАМ-ИК [3], инфрасный спектрометр высокого разрешения со спектральным диапазоном в 1 - 1.7 микрона, для характеристики и сезонного картирования CO₂ и H₂O льдов на поверхности Марса. Оба вида льда имеют сильные полосы поглощения в диапазоне СПИКАМ-ИК. Мы использовали глубины этих полос для картирования льдов, однако сами глубины этих полос являются косвенным индикатором некоторых физических характеристик льдов на поверхности (например, толщина льда или размер зерна льда).

Рассеяние на аэрозолях нелинейно влияет на альbedo поверхности и изменяет глубину этих полос. Мы использовали модель многократного рассеяния DISORT [4] с 16-ю потоками для моделирования альbedo поверхности с учетом рассеяния на аэрозолях. Используя эту модель, мы восстановили альbedo поверхности для ряда наблюдений и выявили ключевые факторы, влияющие на изменение глубины полос поглощения. Данные о содержании аэрозолей в атмосфере Марса использовались из базы данных Марсианского климата MCD 6.1 [5]. Мы также определили сезонные промежутки на Марсе, во время которых такая недооценка наиболее критична. Результаты нашего алгоритма могут быть применены и для других приборов, изучающих льды и минералы на поверхности Марса.

Литература:

1. Langevin Y., Doute S., Vincendon M. et al. No signature of clear CO₂ ice from the “cryptic regions” in Mars’ south seasonal polar cap // Nature. 2006. V. 442. P. 790–792. <https://doi.org/10.1038/nature05012>
2. Wolff M.J., Smith M.D., Clancy R. T. et al. Wavelength dependence of dust aerosol single scattering albedo as observed by the Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer // J. Geophys. Res. 2009. V. 114. Article 2009JE003350. <https://doi.org/10.1029/2009JE003350>
3. Korablev O., Bertaux J.-L., Fedorova A. et al. SPICAM IR acousto-optic spectrometer experiment on Mars Express // J. Geophysical Research: Planets. 2006. V. 111.
4. Stamnes K., Tsay S.-C., Wiscombe W., Jayaweera K. Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media // Applied Optics. 1988. V. 27. Iss. 12. P. 2502–2509. <https://doi.org/10.1364/AO.27.002502>.
5. Forget F. et al. Improved general circulation models of the martian atmosphere from the surface to above 80 km // J. Geophysical Research: Planets. 1999. V. 104(E10). P. 24155–24175. DOI: 10.1029/1999je001025.

ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ "ДРИАДА"

Назарова А.В., Федорова А.А., Трохимовский А.Ю.

Институт космических исследований РАН

Наблюдаемый на Земле парниковый эффект тесно связан с содержанием в атмосфере таких газов, как углекислый газ (CO_2) и метан (CH_4). Одним из источников является хозяйственная деятельность человека, что приводит к увеличению среднего уровня концентрации газов. В настоящее время концентрация парниковых газов антропогенного происхождения в атмосфере Земли возрастает с каждым годом. Увеличение объемов выбросов, связанных с деятельностью человека, привело к текущему содержанию парниковых газов (ПГ) в 410 ppm для CO_2 и 1877 ppb для CH_4 . Из-за влияния, оказываемого на окружающую среду, возникла необходимость в контроле концентрации выбросов основных парниковых газов и поиска мест их происхождения. Помимо наземных сетей измерения, для отслеживания изменений состава атмосферы необходимы спутники и приборы для дистанционного мониторинга парниковых газов. Наиболее эффективным методом, решающим эту задачу, является спектральный анализ солнечного света, отраженного от поверхности в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне. В качестве инструмента дистанционного мониторинга используются спектрометры высокого спектрального разрешения. Среди предыдущих космических экспериментов, осуществлявших измерение концентрации парниковых газов, такие как: GOSAT (англ. Greenhouse Gases Observing Satellite) [6], OCO-2 (англ. Orbiting Carbon Observatory 2) [4], TanSat [11], TROPOMI (англ. Tropospheric Ozone-Monitoring Instrument) [5]. В ИКИ РАН в 2009 г. был разработан спектрометр РУСАЛКА (Ручной Спектральный Анализатор Компонентов Атмосферы) [1] для наблюдения ПГ космонавтами с борта Международной космической станции (МКС).

Опыт предыдущих миссий и эксперимента РУСАЛКА использовался при формировании требований к будущим приборам для космического мониторинга, в том числе эксперимента «Дриада» [2]. Полосы поглощения парниковых газов и водяного пара лежат в диапазоне 1,4-1,67 мкм, который будет наблюдаться спектрометром, что позволит регистрировать поглощение CO_2 в полосах 1,58 и 1,6 мкм и CH_4 в полосе 1,64 мкм. Прибор должен обладать высокой спектральной разрешающей силой, не менее 20000, и высокой чувствительностью (отношение «сигнал-шум») в основных спектральных каналах, обеспечивающих измерение CO_2 и CH_4 .

На первом этапе работы в качестве базовой модели переноса излучения была взята модель LBLRTM (Line-by-line Radiative Transfer Model) [3], где используется спектроскопическая база данных HITRAN 2012 [9]. В качестве солнечного спектра используется модель Kurucz et al., 1992 [8]. Моделирование производится для случая нисходящего потока (надирные наблюдения) с использованием поверхности Ламберта. Диапазон для исследуемых молекул взят от 5600 см⁻¹ до 7400 см⁻¹, что соответствует 1,35-1,79 мкм. Рассматривается случай без учёта рассеяния. В качестве модели атмосферы задается одна из стандартных, встроенных в модель. В ходе работы варьировались значения концентрации газов и используемые модели атмосферы.

Результаты моделирования используются для исследования чувствительности прибора при заданных параметрах спектрального разрешения и отношения «сигнал-шум». Также они будут использованы для валидации собственного алгоритма модели переноса излучения для эксперимента ДРИАДА, построенного на базе алгоритмов для экспериментов СПИКАМ ИК [10] и ACS NIR [7].

Литература:

1. Кораблев О. И. и др. Прибор "РУСАЛКА" для измерения содержания углекислого газа и метана в атмосфере с борта Международной космической станции // Оптический журнал. – 2011. – Т. 78. – №. 5. – С. 44-58.
2. Трохимовский А. Ю. и др. Инфракрасный канал научной аппаратуры «Дриада» для измерения содержания парниковых газов из космоса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19. – №. 6.
3. Clough S. A. et al. Atmospheric radiative transfer modeling: A summary of the AER codes // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. – 2005. – Т. 91. – №. 2. – С. 233-244.
4. Crisp D. Measuring atmospheric carbon dioxide from space with the Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2) // Earth observing systems xx. – SPIE, 2015. – Т. 9607. – С. 960702.
5. de Vries J. et al. Technology evolution of the TROPOMI instrument // 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. – Ieee, 2012. – С. 2876-2879.
6. Kasuya M., Nakajima M., Hamazaki T. Greenhouse gases observing satellite (GOSAT) program overview and its development status // Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Space Technology Japan. – 2009. – Т. 7. – №. ists26. – С. To_4_5-To_4_10.
7. Korablev O. et al. No detection of methane on Mars from early ExoMars Trace Gas Orbiter observations // Nature. – 2019. – Т. 568. – №. 7753. – С. 517-520.
8. Kurucz R. L. Synthetic infrared spectra // Symposium-International Astronomical Union. – Cambridge University Press, 1994. – Т. 154. – С. 523-531.
9. Rothman L. S. et al. The HITRAN2012 molecular spectroscopic database // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. – 2013. – Т. 130. – С. 4-50.
10. Trokhimovskiy A. et al. Mars' water vapor mapping by the SPICAM IR spectrometer: Five martian years of observations // Icarus. – 2015. – Т. 251. – С. 50-64.
11. Wang Q., Yang Z. D., Bi Y. M. Spectral parameters and signal-to-noise ratio requirement for TANSAT hyper spectral remote sensor of atmospheric CO2 // Remote Sensing of the Atmosphere, Clouds, and Precipitation V. – SPIE, 2014. – Т. 9259. – С. 351-366.

АПОДИЗАЦИОННЫЕ И КОРОНОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЭКЗОПЛАНЕТ

Пестич А.А.^{1,2}, Тавров А.В.²

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

² *Институт космических исследований РАН*

Прямое обнаружение экзопланет — это один из современных методов их изучения, который стремительно развивается. Однако данный подход пока что позволил зафиксировать лишь небольшую часть известных экзопланет — менее 1% от общего числа открытых объектов. Основное препятствие заключается в значительной разнице яркости между планетой и ее родительской звездой, которая может достигать 6–10 порядков. Для успешного выделения слабого сигнала экзопланеты необходимо применять специальные оптические технологии, снижающие влияние звездного излучения.

Одним из ключевых решений является использование звездных коронографов — устройств, которые блокируют свет звезды, позволяя различить объекты в ее окрестности. Дополнительно применяются аподизационные методы, способные управлять дифракционными эффектами в оптической системе, тем самым повышая контрастность изображения.

Однако даже при подавлении звездного света остаются остаточные искажения, возникающие из-за рассеяния на несовершенствах оптических элементов. Для их устранения требуется точная коррекция волнового фронта с прецизионной точностью (лучше $\lambda/1000$), особенно если речь идет о поиске землеподобных планет. В этом помогает адаптивная оптика, позволяющая в реальном времени компенсировать оптические aberrации. В случае наземных обсерваторий дополнительным фактором, осложняющим наблюдения, является турбулентность атмосферы, чего можно избежать при использовании космических телескопов.

В данной работе будут рассмотрены современные технологии прямого наблюдения экзопланет, включая коронографические и аподизационные методы, а также моделирование высококонтрастных изображений с учетом численных расчетов.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХЛОРА В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЛАСТЯХ КРАТЕРА ГЕЙЛ НА МАРСЕ ПО ДАННЫМ С ПРИБОРОВ ДАН И APXS

Романова А.Э., Митрофанов И.Г., Литвак М.Л.

Институт космических исследований РАН

Введение. Марсоход «Curiosity» пересекает различные осадочные отложения, которые научная команда MSL классифицирует в виде вертикальной стратиграфической колонки. Наряду с областями – вертикально выделенными участками грунта со схожими геологическими структурами, марсианские геологи выделяют так же большие геологические формации.

Методы. Исследование распределения хлора вдоль трассы «Curiosity» проводилось на основе анализа активных измерений прибора ДАН и измерений APXS. Сопоставление данных с двух приборов представляет интерес поскольку ДАН чувствителен к объёмному хлору, а APXS измеряет только его поверхностную концентрацию. Хлор считается важным химическим компонентом марсианской поверхности. Поставленная задача заключалась в том, чтобы ответить на вопрос: совпадают ли распределения хлора, измеренные двумя приборами в одной геологической области или нет?

Результаты. В результате проведения статистических тестов Колмогорова-Смирнова, Манна-Уитни, критерия Фишера и Т-теста были выделены 10 геологических областей, в которых объёмный (~ 50 см) и поверхностный (~ 15 мкм) хлор статистически имеют одно и тоже значение. Таким образом, удалось классифицировать области как однородные/неоднородные. К однородным относятся : Chenapau, Catrimani, Contigo, Port Logan, Dunnideer, Pontours, Glasgow, Hartmann’s Valley, Pahrump Hills, Bradbury. Было замечено, что на 7 из 10 однородных областей накладывается формация Stimson, состоящая в основном из гравелистого перекрёстно-слоистого серого песчаника. Это позволяет выдвинуть предположение об однородности не только отдельных взятых областей, но и данной формации в целом.

Литература:

1. Grotzinger, J.P., Crisp, J., Vasavada, A. R., Anderson, R.C., Baker, C.J., Barry, R., Blake, D.F., Conrad, P., Edgett, K.S., Ferdowsi, B., Gellert, R., Gilbert, J. B., Golombek, M., Gómez-Elvira, J., Hassler, D.M., Jandura, L., Litvak, M.L., Mahaffy, P., Maki, J., Meyer, M., Malin, M.C., Mitrofanov, I.G., Simmonds, J. J., Vaniman, D., Welch, R. V., Wiens, R. C. (2012), Mars Science Laboratory mission and science investigation. Space Sci. Rev. 170, 5–56. <https://doi.org/10.1007/s11214-012-9892-2>

2. Mitrofanov, I. G., Litvak, M. L., Sanin, A. B., Starr, R. D., Lisov, D. I., Kuzmin, R. O., et al., (2014), Water and chlorine content in the Martian soil along the first 1900 m of the Curiosity rover traverse as estimated by the DAN instrument. Journal of Geophysical Research: Planets, 119(7), 1579–1596. <https://doi.org/10.1002/2013JE004553>

3. Mitrofanov, I.G., Nikiforov, S.Y., Djachkova, V.V., Lisov, D.I., Litvak, M.L., Sanin, A.B., Vasavada, A.R. (2023), Water and chlorine in the Martian subsurface along the traverse of NASA’s Curiosity rover, Part I: DAN measurement profiles along the traverse, Journal of Geophysical Research: Planets, <https://doi.org/10.1029/2022JE007327>

4. Fedo, C. M., Bryk, A. B., Edgar, L. A., Bennett, K. A., Fox, V. K., Dietrich, W. E., et al. (2022). Geology and stratigraphic correlation of the Murray and Carolyn Shoemaker formations across the Glen Torridon region, Gale crater, Mars. Journal of Geophysical Research: Planets, 127, e2022JE007408. <https://doi.org/10.1029/2022JE007408>

ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛОГА МЕРЗЛОГО ЛУННОГО РЕГОЛИТА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕГО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Савватимова П.Р.^{1,2,3}, Митрофанов И.Г.³, Литвак М.Л.³,
Санин А.Б.³, Томилина Т.М.^{2,3}.

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана

² Институт Машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

³ Институт космических исследований РАН

Исследование свойств мерзлого лунного реголита представляет большой интерес для современной лунной науки. Подготавливаются научные проекты для изучения полярного реголита приборами на борту лунных посадочных аппаратов и также для доставки его образцов на Землю для анализа состава в ведущих научных центрах. В докладе будут рассмотрены вопросы формирования вечной мерзлоты на полюсах Луны и влияние этих процессов на теплофизические и механические свойства мерзлого грунта. Будет предложена лабораторная методика изучения указанных свойств для аналогов мерзлого грунта при помощи термовакуумной камеры МГТУ им. Н.Э. Баумана. Полученные данные будут учитываться для разработки и наземных испытаний перспективных устройств забора образцов мерзлого лунного реголита.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОБЛАЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ ПО УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ ОБЛАКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С АМС АКАЦУКИ

Саттаров Т.Д.¹, Пацаева М.В.²

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

² *Институт космических исследований РАН*

Венера обладает массивной атмосферой, демонстрирующей сложную динамику, включая феномен суперротации — когда атмосфера в области верхней границы облаков вращается со скоростью в 50-60 раз быстрее твёрдого тела Венеры и делает полный оборот вокруг планеты за 4-5 земных суток. В экваториальных и средних широтах скорость зонального ветра на верхней границе облаков достигает 100 м/с. В верхнем облачном слое на высоте 58-70 км находится неизвестный УФ поглотитель, неоднородное распределение которого позволяет получать контрастные изображения и вычислять скорость ветра [1].

В работе были обработаны УФ изображения (365 нм), соответствующие верхней границе облаков Венеры (70 ± 2 км), с орбиты №137 японской автоматической межпланетной станции Акацуки (Venus Climate Orbiter) за 7 января 2020 года. Для определения скорости ветра применялся корреляционный метод, основанный на отслеживании смещения контрастных деталей облачного слоя с интервалом в 2 часа. Получено и проанализировано более 16 тысяч векторов скоростей с применением специальных критериев отбора.

Анализ показал, что на экваторе средняя зональная скорость составляет около -78 м/с (направление с востока на запад), а меридиональная скорость близка к нулю. Выявлена асимметрия в распределении зональной скорости между северным и южным полушариями, а также уменьшение скоростей при приближении к полюсам. Поведение меридиональной компоненты соответствует циркуляции типа ячейки Хедли с движением от экватора к полюсам [2].

Обнаружено влияние топографии на динамику атмосферы: наблюдается торможение зонального потока над Областью Овда в экваториальной зоне, что согласуется с данными о влиянии рельефа подстилающей поверхности на зональную скорость [3]. Наблюдается увеличение меридиональной скорости на средних широтах, связанное с прохождением У-структуры [4].

Результаты исследования демонстрируют сложную структуру горизонтальных потоков в верхнем облачном слое Венеры и подтверждают влияние рельефа на атмосферную динамику на высотах около 70 км над поверхностью планеты.

Литература:

1. Пацаева М. В. Динамика верхнего облачного слоя Венеры по данным камеры VMC орбитальной станции «Венера Экспресс»: Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук – Москва: ИКИ РАН, 2020

2. Schubert, G., "General circulation and the dynamical state of the Venus atmosphere. in Venus (A83-37401 17-91). Tucson, AZ, University of Arizona Press, 1983, p. 681-765. NASA-supported research. [7] Zasova, L. V., Ignatiev, N. I., Khatuntsev, I. V., & Linkin, V. M. Structure of the Venus atmosphere // Planetary and Space Science. 2007. V.55(12), 1712–1728. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2007.01.011>.

3. Bertaux, J.-L., Khatuntsev, I. V., Hauchecorne, A., Markiewicz, W. J., Marcq, E., Lebonnois, S., et al. (2016). Influence of Venus topography on the zonal wind and UV albedo at cloud top level: The role of stationary gravity waves. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 121, 1087–1101. <https://doi.org/10.1002/2015JE004958>

4. Patsaeva, M. V., Khatuntsev, I. V., Patsaev, D. V., Titov, D. V., Ignatiev, N. I., Markiewicz, W. J., & Rodin, A. V. (2015). The relationship between mesoscale circulation and cloud morphology at the upper cloud level of Venus from VMC/Venus Express. *Planetary and Space Science*, 113-114(08), 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2015.01.013>

АКТИВНОСТЬ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В МАРСИАНСКОЙ АТМОСФЕРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СОЛНЕЧНОМУ ПРОСВЕЧИВАНИЮ 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 [4].

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 с половиной Марсианских года (MY) с середины MY34 (апрель 2018) по конец MY36 (декабрь 2022). Объем данных насчитывает около 760 сеансов солнечных затмений для канала MIR и около 9130 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. doi:10.1016/j.icarus.2006.08.020.

4. Starichenko E.D., Medvedev A.S., Belyaev D.A., et al., 2024. Climatology of gravity wave activity based on two Martian years from ACS/TGO observations. *Astronomy&Astrophysics*, 683, A206. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202348685>.

5. 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.

6. 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.

ТЕПЛОВАЯ СТРУКТУРА И ПЛОТНОСТЬ МЕЗОСФЕРЫ И НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ ПО ДАННЫМ SOIR/VEH 2006-2014 ГГ.

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

Институт космических исследований РАН

Мезосфера Венеры расположена непосредственно над облачным слоем планеты, на высотах от 65 до 120 километров. Исследование мезосферы и термосферы Венеры играет ключевую роль в изучении различных атмосферных процессов на планете, включая формирование «плотных слоев» в надоблачной дымке на высотах 80-90 км [1, 2], а также диссипацию воды с планеты, что подтверждается аномально высоким изотопным отношением $[HDO/H_2O]$ [3, 4]. Кроме того, на основе исследований этих атмосферных слоев регулярно обновляются существующие фотохимические модели верхней атмосферы Венеры.

Наиболее обширная база наблюдательных данных по структуре мезосферы и термосферы Венеры была получена из эксперимента по солнечному просвечиванию SOIR (Solar Occultation in the Infrared), работавшего на борту орбитального аппарата Venus Express (VEx) [5]. SOIR представляет собой высокоточный эшелле-спектрометр, способный регистрировать тонкие линии поглощения молекул в спектрах атмосферного пропускания в инфракрасном диапазоне от 2.2 до 4.2 мкм. В режиме солнечного просвечивания SOIR зондировал слои атмосферы над облаками, от 65-70 км до 100-170 км, в зависимости от интенсивности линий поглощения. Среди поглощающих газов регистрируется не только основная компонента CO_2 , но и малые составляющие и их изотопы: H_2O , HDO , HCl и SO_2 и другие.

В данной работе представлены результаты восстановления вертикальных профилей температуры и плотности атмосферы Венеры на основе спектров пропускания в полосах поглощения CO_2 , полученных в ходе эксперимента SOIR/VEx. Статистика данных охватывает все годы миссии VEx, с 2006 по 2014 год. В основе алгоритма восстановления лежит зависимость интенсивности линий поглощения CO_2 от температуры, что при условии гидростатического приближения для атмосферного давления дает возможность определить по спектрам как плотность CO_2 , так и температуру. Алгоритм был разработан в ИКИ и он успешно применяется при анализе данных действующего аналогичного эксперимента ACS в атмосфере Марса [6, 7]. Ранее, температура и плотность в атмосфере Венеры были восстановлены по спектрам SOIR с помощью другого алгоритма, ASIMAT, описанного в работах [8, 9]. ASIMAT, в отличие от алгоритма ИКИ, работает только с ненасыщенными линиями поглощения, что ограничивает диапазон высот в вертикальных профилях. Помимо этого, алгоритм ИКИ был исследован на устойчивость к колебаниям профиля температуры. Применяемый нами метод обеспечивает обновленную структуру атмосферы, которая в дальнейшем послужит основой для анализа содержания малых газовых составляющих, в частности, проверки экстремально высокого изотопного соотношения $[HDO/H_2O]$. Предварительные результаты анализа вертикальных профилей H_2O и HDO также представлены в этой работе.

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

Литература:

1. Luginin et al. Aerosol properties in the upper haze of Venus from SPICAV IR data // *Icarus*, 2016. Volume 277. doi:10.1016/j.icarus.2016.05.008.
2. Luginin et al. Scale heights and detached haze layers in the mesosphere of Venus from SPICAV IR data // *Icarus*, 2018. Volume 311. doi:10.1016/j.icarus.2018.03.018.
3. Fedorova et al. 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.*, 2008, 113, E00B22, doi:10.1029/2008JE003146.
4. Mahieux et al, Unexpected increase of the deuterium to hydrogen ratio in the Venus mesosphere // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2024.
5. Nevejans et al. Compact high-resolution spaceborne echelle grating spectrometer with acousto-optical tunable filter based order sorting for the infrared domain from 2.2 to 4.3 microm. // *Appl Opt.* 2006. Jul 20;45(21):5191-206. doi: 10.1364/ao.45.005191.
6. Fedorova et al. Stormy water on Mars: The distribution and saturation of atmospheric water during the dusty season // *Science*, 2020, 367. eaay9522. doi:10.1126/science.aay9522.
7. Belyaev et al. Thermal Structure of the Middle and Upper Atmosphere of Mars From ACS/TGO CO₂ Spectroscopy // *Journal of Geophysical Research: Planets*, 2022, 127. doi:10.1029/2022JE007286.
8. Mahieux A. et al. Densities and temperatures in the Venus mesosphere and lower thermosphere retrieved from SOIR on board Venus Express: Retrieval technique // *Journal of Geophysical Research*, 2010, 115. doi:10.1029/2010JE003589.
9. Mahieux et al. The SOIR/Venus Express species concentration and temperature database: CO₂, CO, H₂O, HDO, H³⁵Cl, H³⁷Cl, HF individual and mean profiles // *Icarus*, 2023. Volume 405. doi:10.1016/j.icarus.2023.115713.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ АТМОСФЕРЫ МАРСА: ВАЛИДАЦИЯ ДАННЫХ ACS С МОДЕЛЬЮ МРСМ

Цзоу Юньтянь¹, Беляев Д.А.²

¹ Факультет космических исследований МГУ

² Институт космических исследований РАН

Данная работа посвящена исследованию вертикальной структуры атмосферы Марса с помощью эксперимента ACS (Atmospheric Chemistry Suite) и её сравнению с марсианской климатической моделью МРСМ (Mars Planetary Climate Model). Прибор ACS - это многоканальный спектрометр инфракрасного (ИК) диапазона длин волн, который сейчас работает на борту аппарата TGO (Trace Gas Orbiter) миссии ExoMars-2016 с апреля 2018 года [1]. Канал среднего ИК диапазона (ACS-MIR) зондирует атмосферу Марса в режиме солнечного просвечивания и регистрирует молекулярные полосы поглощения CO₂ в области спектра около 2.7 мкм. Это позволяет с помощью специального алгоритма определять вертикальные профили температуры и плотности CO₂ в широком диапазоне высот, от 10 до 180 км, включая тропосферу, мезосферу и термосферу планеты [2].

Наше исследование охватывает наблюдения с апреля 2018 г. по декабрь 2022 г., что соответствует марсианским годам с середины 34-го по конец 36-го (MУ34-MУ36). Мы обработали 968 высотных профилей, измеренных на восходе и заходе Солнца (утреннее и вечернее состояние атмосферы) на различных широтах северного и южного полушария планеты. Для каждой локации и времени измерений была рассмотрена модель глобальной циркуляции атмосферы (GCM), которая входит в основу марсианской климатической базы данных МРСМ (Martian Planetary Climate Model), модель периодически обновляется [3-6]. Таким образом, мы осуществляем сравнительный анализ между ACS и МРСМ для высотных профилей температуры и плотности CO₂. Рассматриваются распределения по сезонам Ls в годы MУ34-MУ36, вариации по широте, а также разница между утренними и вечерними профилями на различных высотах. Данная валидация позволяет уточнить модель атмосферы Марса, особенно в пограничных слоях, например в мезопаузе.

Литература:

1. Korabely et al., 2018. The Atmospheric Chemistry Suite (ACS) of three spectrometers for the ExoMars 2016 trace gas orbiter. *Space Science Reviews*, 214¹.
<https://doi.org/10.1007/s11214-017-0437-6>.
2. Belyaev et al., 2022. Thermal structure of the middle and upper atmosphere of Mars from ACS/TGO CO₂ spectroscopy. *J. Geophys. Res.*, 127(10), e2022JE007286.
<https://doi.org/10.1029/2022JE007286>.
3. Forget F. et al., 1999. Improved general circulation models of the Martian atmosphere from the surface to above 80 km. *J. Geophys. Res.*, 104, 24155–24175.
4. Gonzalez-Galindo F. et al., 2009. A ground-to-exosphere Martian general circulation model: 1. Seasonal, diurnal, and solar cycle variation of thermospheric temperatures. *J. Geophys. Res.*, 114, E04001, doi:10.1029/2008JE003246.
5. Gonzalez-Galindo F. et al., 2009. A ground-to-exosphere Martian general circulation model: 2. Atmosphere during solstice conditions - Thermospheric polar warming. *J. Geophys. Res.*, 114, E08004, doi:10.1029/2008JE003277.
6. González-Galindo et al., 2015. Variability of the Martian thermosphere during eight Martian years as simulated by a ground-to-exosphere global circulation model. *J. Geophys. Res.*, 120(11), 2020-2035.

ДИНАМИКА НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕВОДА АСТЕРОИДОВ НА ОРБИТУ СПУТНИКА ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАВИТАЦИОННЫХ МАНЁВРОВ

Черненко О.С., Эйсмонт Н.А.

Институт космических исследований РАН

Астероиды, как реликтовые объекты ранних этапов эволюции Солнечной системы, обладают высокой научной и прикладной ценностью. Будучи фундаментальными компонентами протопланетного диска, они сохраняют ключевые данные о механизмах аккреции материи и формировании планетарных тел. Исследование их орбитальной динамики и состава приобретает особую актуальность в контексте задач планетарной защиты и перспектив добычи редкоземельных элементов.

В представленном исследовании разработан подход к низкоэнергетическому переводу астероидов с подходящими орбитальными и массовыми характеристиками на стабильные орбиты спутника Земли. Первоначальный этап включает подробный расчет оптимального импульса скорости, переводящего астероид на резонансную с Землёй гелиоцентрическую орбиту (резонанс 1:1). Это создаёт условия для периодических низкоэнергетических сближений с системой Земля-Луна, критически важных для реализации каскадных гравитационных манёвров, характеристики которых также представлены в работе. Последующая цепочка пролётов вблизи Луны приводит к последовательному уменьшению гиперболического избытка скорости астероида относительно Земли, что в конечном итоге позволяет захватить его на резонансную орбиту с периодом, кратным лунному.

Продемонстрированы условия захвата и стабильность орбиты после пролетов Луны. Результаты моделирования показывают, что серия гравитационных манёвров вблизи Луны снижает относительную скорость астероида ниже параболического порога Земли (11.2 км/с). Всё это обеспечивает переход на стабильную эллиптическую орбиту. Данный подход не только способствует развитию науки об астероидах, позволяя проводить долгосрочные исследования в непосредственной близости от них, но и улучшает стратегии планетарной обороны.

ПОИСК И АНАЛИЗ ОБЛАСТЕЙ ПОНИЖЕННОГО НЕЙТРОННОГО ПОТОКА В ЮЖНОЙ ОКОЛОПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ ЛУНЫ ПО ДАННЫМ ПРИБОРА LEND

Шандров Н.М., Митрофанов И.Г., Санин А.Б.

Институт космических исследований РАН

Еще в 60-х годах XX в. была научно обоснована гипотеза о возможном существовании большого объема водяного льда в постоянно затененных областях (ПЗО) в окрестности лунных полюсов. Несмотря на многочисленные автоматические и пилотируемые миссии к Луне, до 10-х годов XXI в. данная гипотеза не была проверена.

Поэтому, в отделе Ядерной планетологии ИКИ РАН был предложен эксперимент ЛЕНД (от англ. Lunar Exploration Neutron Detector, LEND) с коллимированным нейтронным телескопом для картирования распределения водяного льда в грунте полярных районов [1-2]. Эксперимент основан на измерении нейтронного потока, образующегося в результате взаимодействия галактических космических лучей (ГКЛ) с верхним приповерхностным слоем лунного грунта. Спектр вылетающих нейтронов зависит от состава грунта, причём в диапазоне низких эпитепловых энергий (~ 1 эВ – ~ 100 кэВ) эта зависимость в основном определяется концентрацией водорода. Т.к. водород является наиболее эффективным замедлителем нейтронов, то, чем больше его содержится в грунте, тем меньше поток выходящих с поверхности эпитепловых нейтронов.

Российский нейтронный телескоп LEND был запущен к Луне на борту космического аппарата NASA LRO 23 июня 2009 г. и продолжает работать по настоящее время. Прибор измеряет нейтронный поток от поверхности Луны в диапазоне от тепловых энергий до ~ 15 МэВ с помощью 9 детекторов нейтронов. Четыре коллимированных детектора эпитепловых нейтронов позволяют строить карты распределения водорода в грунте с высоким пространственным разрешением ~ 10 км.

В результате обработки данных, измеренных российским телескопом LEND, были построены детальные карты нейтронного излучения поверхности Луны и было обнаружено наличие больших объёмов воды как в некоторых ПЗО, так и на освещаемых Солнцем территориях. Важным результатом стало то, что не все ПЗО демонстрируют повышенное содержание водяного льда в грунте. Другим, неожиданным результатом стало обнаружение водяного льда в грунте периодически освещаемых Солнцем районов, что означает его залегание на некоторой глубине под поверхностью [3].

Для уточнения полученных ранее в эксперименте ЛЕНД результатов, мы применили другой подход к поиску областей на лунной поверхности, демонстрирующих пониженный поток эпитепловых нейтронов. Данный метод основан на анализе групповой статистической значимости пикселей на карте нейтронного потока. Результат поиска и анализа таких районов и оценки концентрации водяного льда в их грунте будут представлены.

В дальнейшем, полученные результаты могут быть использованы для планирования и проведения научных миссий на поверхности нашего естественного спутника, включая построение первой научно-исследовательской станции, а также могут быть полезны для лучшего понимания причин и закономерностей распределения воды в приповерхностном слое реголита, что приведет к развитию знания об истории эволюции Луны и других небесных тел.

Литература:

1. Experiment LEND of the NASA Lunar Reconnaissance Orbiter for High-Resolution Mapping of Neutron Emission of the Moon. I.G. Mitrofanov, A.B. Sanin, D.V. Golovin, M.L. Litvak, A.A. Konovalov, A.S. Kozyrev, A.V. Malakhov, M.I. Mokrousov, V.I. Tretyakov, V.S. Troshin, V.N. Uvarov, A.B. Varenikov, A.A. Vostrukhin, V.V. Shevchenko, V.N. Shvetsov, A.R. Krylov, G.N. Timoshenko, Y.I. Bobrovnitsky, T.M. Tomilina, A.S. Grebennikov, L.L. Kazakov, R.Z. Sagdeev, G.N. Milikh, A. Bartels, G. Chin, S. Floyd, J. Garvin, J. Keller, T. McClanahan, J. Trombka, W. Boynton, K. Harshman, R. Starr, and L. Evans *Astrobiology* 2008 8:4, 793-804 DOI:10.1089/ast.2007.0158

2. Mitrofanov, I. G., Bartels, A., Bobrovnitsky, Y. I., Boynton, W., Chin, G., Enos, H., Evans, L., Floyd, S., Garvin, J., Golovin, D. V., Grebennikov, A. S., Harshman, K., Kazakov, L. L., Keller, J., Konovalov, A. A., Kozyrev, A. S., Krylov, A. R., Litvak, M. L., Malakhov, A. V., McClanahan, T., Milikh, G. M., Mokrousov, M. I., Ponomareva, S., Sagdeev, R. Z., Sanin, A. B., Shevchenko, V. V., Shvetsov, V. N., Starr, R., Timoshenko, G. N., Tomilina, T. M., Tretyakov, V. I., Trombka, J., Troshin, V. S., Uvarov, V. N., Varennikov, A. B., Vostrukhin, A. A., Lunar Exploration Neutron Detector for the NASA Lunar Reconnaissance Orbiter *Space Science Reviews*, 2010, 150, 183–207, DOI:10.1007/s11214-009-9608-4

3. Sanin, A. B., Mitrofanov, I. G., Litvak, M. L., Bakhtin, B. N., Bodnarik, J. G., Boynton, W. V., Chin, G., Evans, L. G., Harshman, K., Fedosov, F., Golovin, D. V., Kozyrev, A. S., Livengood, T. A., Malakhov, A. V., McClanahan, T. P., Mokrousov, M. I., Starr, R. D., Sagdeev, R. Z., Tretyakov, V. I., Vostrukhin, A. A. Hydrogen distribution in the lunar polar regions // *Icarus*. – 2017. – Vol. 283. – P. 20–30. – DOI: 10.1016/j.icarus.2016.06.002.

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ ФОТОХИМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ОЗОНА В СЛОЕ НОЧНОГО ГИДРОКСИЛА НА МАРСЕ

Шапошников Д.С.¹, Григалашвили М.Ю.²

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Институт Исследований Солнечной системы им. Макса Планка

Фотохимическое равновесие озона является ключевым фактором при определении пределов применимости уравнений, используемых для восстановления концентрации атомарного кислорода на основе спектральных измерений состава атмосферы Марса. В данной работе проведен анализ соответствия озона фотохимическому равновесию вблизи слоя ночного гидроксила (ОН*) с использованием численного моделирования. Расчеты основаны на данных о концентрациях химических компонентов (O_3 , O , H , O_2 , N_2 , CO_2), плотности воздуха и температуре, полученных из Mars Planetary Climate Model для 30-го марсианского года.

Результаты показывают, что в ночное время озон в тонком слое на высотах 45-80 км, как правило, находится в состоянии, близком к фотохимическому равновесию (с отклонением менее 10%). Однако в некоторых широтных зонах зафиксированы значительные отклонения, что может указывать на влияние динамических процессов, не учитываемых в стандартных фотохимических схемах. Высота слоя также изменяется в зависимости от сезона: вблизи перигелия он поднимается на 10-15 км выше. Анализ факторов, определяющих баланс озона, показал, что его концентрация в первую очередь зависит от содержания атомарного кислорода, плотности воздуха и температуры, причем последние два параметра играют решающую роль.

Полученные результаты помогают уточнить механизмы формирования свечения атмосферы Марса и определить оптимальные условия для будущих измерений гидроксила, что представляет важный интерес для предстоящих космических миссий.

РАСЧЕТ ФАЗОАМПЛИТУДНОЙ АПОДИЗАЦИИ ДЛЯ ВЫСОКОНТРАСТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ЭКЗОПЛАНЕТ

Шульгина И.В., Тавров А.В.

Институт космических исследований РАН

Экзопланетами называют планеты, которые находятся за пределами нашей Солнечной системы. Обнаружение и исследование экзопланет осложняется тем, что они намного тусклее родительских звезд. 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. Для прямого наблюдения экзопланет применяются высококонтрастные методы, такие как коронографы и специальные аподизации.

Аподизация в высококонтрастных методах исследования представляет собой процесс модификации ФРТ – аппаратной функции оптической системы с целью уменьшения боковых лепестков в дифракционной картине. Это достигается путем изменения пространственного распределения амплитуды или фазы входного сигнала таким образом, чтобы уменьшить интенсивность света, дифрагированного краями апертуры. В данной работе представлены результаты моделирования аподизации по фазе и амплитуде. Для модуляции по амплитуде был применен профиль аподизации Сонина [1]. Данная аподизация хоть и достаточно эффективна, но фильтрует много полезного света. В противовес ей была рассмотрена аподизация только по фазе. Данный тип аподизации удобен прежде всего тем, что его проще контролировать с помощью имеющегося в распоряжении SLM (Жидкокристаллического пространственного фазового модулятора света). Был исследован метод фазовой аподизации, который изначально был рассчитан для квадратной апертуры оптической системы [2]. С помощью гомеоморфного преобразования координат удалось получить хороший контраст смоделированного изображения для круглой апертуры оптической системы. Расчеты с применением одновременно с двумя типами аподизации показали значительное погашение звезды без существенных потерь света.

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 диапазоне длин волн $\lambda = 500 - 900$ нм на расстоянии 10 пк, что составляет $\sim 0.04\lambda/D$, мы можем наблюдать планеты по типу Земли со значениями светимости порядка 10^{-7} от светимости родительской звезды. Наведение телескопа (гидирование) происходит с ошибкой по углу. Расчеты показывают, что аподизация не критично чувствительна к ошибкам наведения.

В дальнейшем планируется объединение аподизации с интерференционным коронографом. Коронограф позволит измерять волновой фронт для последующей его коррекции, в то время как аподизация поможет более эффективно погасить свет звезды.

Литература:

1. C. Aime, Y. Rabbia, A. Carlotti and G. Ricort /Reducing star leakage with a nuller coronagraph. An analytic approach for a Sonine apodized circular aperture. A&A530, A52 (2011)
2. Weidong Yang. Pupil Phase Apodization for Achromatic Imaging of Extra-solar Planets. Michigan Technological University, Dissertation, 2004

ПОИСК ТРАНЗИТНЫХ ЭКЗОПЛАНЕТ В РАМКАХ ПРОЕКТА STEP: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Яковлев О.Я.

Специальная Астрофизическая Обсерватория РАН

В настоящее время с помощью современных наземных и космических телескопов активно изучаются уже известные экзопланеты. Однако поиск новых планет вне Солнечной системы остается актуальной задачей. С помощью наземных малых телескопов (до 1 м) обнаружено почти 400 транзитных экзопланет у звезд, преимущественно у звезд ярче 14-й звездной величины. Большинство из этих планет относятся к классу горячих юпитеров.

В рамках проекта STEP (SAO RAS Transiting Exoplanets Project) на протяжении последних пяти лет проводятся обзорные наблюдения с целью поиска новых кандидатов в экзопланеты. Исследуются звезды в диапазоне 12–19 звездной величины, что дает преимущество за счет их большего количества, но одновременно усложняет обнаружение и последующее изучение.

В настоящее время разработан программный комплекс для автоматической потоковой обработки данных. С помощью него получены кривые блеска в трех площадках в результате проведенных обзорных наблюдений для более 60 000 звезд. Среди них выявлены звезды со значимой переменностью, которые в дальнейшем классифицированы по типу кривой блеска. В группе затменно-переменных звезд выделены системы, переменность которых может быть обусловлена прохождением экзопланет. Для некоторых из них проведены дополнительные индивидуальные фотометрические и спектроскопические наблюдения. На данный момент ни один кандидат в экзопланеты не подтвержден.

В докладе представлены обнаруженные в ходе этого проекта звезды с кандидатами в экзопланеты, а также обсуждаются проблемы и перспективы этой работы

КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ



РАЗРАБОТКА СОЛНЕЧНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ КУБСАТА

Анискина Д.М.

БОУ ОО Созвездие Орла

Цель: разработка системы ориентации спутника в пространстве

Задачи:

- обосновать выбор системы ориентации кубсата
- разработать алгоритм работы солнечного датчика
- разработать прототип для апробации предложенного решения
- написать программный код
- провести испытания

Актуальность разработки солнечного датчика заключается в проблеме контроля озонового слоя. Озон присутствует в атмосфере земли и играет там ключевую роль, поглощая ультрафиолетовое излучение Солнца и защищая живые организмы на поверхности Земли от вредного и опасного воздействия этого излучения. Кроме того, озон влияет на химические реакции в верхних слоях атмосферы и участвует в регуляции температуры на Земле, поглощая часть солнечного тепла. Озоновый слой служит естественной защитой от этого излучения, поглощая большую часть солнечной радиации. Измерение толщины озонового слоя позволяет отслеживать динамику его изменений, выявлять причины и предсказывать дальнейшие изменения.

Для получения информации в глобальном масштабе необходимо полное покрытие атмосферного слоя, что могут обеспечить спутниковые методы, которые позволяют ежедневно получать данные об озоне в виде поля общего содержания озона.

Для кубсата, измеряющего толщину озонового слоя, удобнее выбрать пассивную систему ориентации не требующую запаса рабочего тела и с минимальным расходом энергии. Из за чего в роли системы ориентации был выбран солнечный датчик, благодаря которому прибор для измерения озонового слоя всегда будет ориентирован на солнце и солнечные панели смогут выработать максимальное количество энергии под правильным углом расположения к солнцу. Был проведен лабораторный опыт определения зависимости производительности монокристаллической панели от угла падения лучей источника света. В ходе исследования солнечных панелей для кубсата были выбраны монокристаллические панели ввиду их большого КПД(20%).

В ходе разработки солнечного датчика был проведен сравнительный анализ разных типов систем ориентации и доказано, что его использование наиболее удобно. Так же были изучены аналоги данного прибора с доказательством его преимущества. Был разработан прототип солнечного датчика, создана его 3д модель, выполнена печать, сборка, подключение дополнительного оборудования и программирование, а также проведены успешные испытания на оценку его работоспособности.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Виноградова Е.В., Юдин М.А.

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

Радиационная стойкость полупроводниковых материалов и приборов тесно связана с концентрацией глубоких уровней в запрещенной зоне. Создаваемые дефектами и примесями глубокие уровни играют ключевую роль в процессах генерации и рекомбинации носителей заряда, которые напрямую влияют на радиационную стойкость. Чем выше начальная концентрация глубоких уровней, тем больше вероятность их взаимодействия с новыми радиационными дефектами, что может приводить к ухудшению свойств материала. Глубокие уровни действуют как центры рекомбинации, захватывая электроны и дырки, снижая тем самым время жизни носителей заряда и увеличивая скорость рекомбинации. В условиях космоса в результате воздействия ионизирующего излучения концентрация, содержащихся в образце, глубоких уровней увеличивается, ухудшая электрические характеристики прибора за счет увеличения обратного тока p-n-перехода.

В ходе работы исследовались образцы интегральных микросхем (ИМС) IN74VHC02D производства завода «Интеграл» из одной партии методом релаксационной спектроскопии глубоких уровней.

Метод релаксационной спектроскопии глубоких уровней позволяет изучать температурную зависимость релаксации емкости полупроводниковых структур. Суть метода заключается в том, что в результате подачи импульса напряжения ловушки захватывают носители заряда, а снятие импульса приводит к постепенному высвобождению захваченных носителей, что приводит к изменению емкости или тока перехода.

В результате исследования были получены частотные сканы образцов, после обработки которых были вычислены емкостные параметры релаксации, а именно, значения амплитуды DLTS-сигнала, постоянной релаксации ГУ, показателя нелинейности и неэкспоненциальности. Обработав полученные параметры релаксации были построены графики в координатах Аррениуса для возможности расчета энергии активации глубоких уровней. Полученные значения энергии активации позволили определить концентрации глубоких уровней образцов путем сравнения углов наклона температурных зависимостей степени ионизации глубоких уровней, полученных для разных значений концентраций с углом наклона, рассчитанным для температурной зависимости амплитуд пиков DLTS сигнала.

Значение концентрации глубоких уровней оказалось на порядок ниже у образца №11, что свидетельствует о более высокой радиационной стойкости, чем у образца №3.

Для повышения радиационной стойкости электронных компонентов необходимо использовать высококачественные материалы с минимальным количеством примесей и дефектов, а также применять различные методы контроля кристаллической структуры, в том числе РСГУ, на различных этапах производства.

АНАЛИЗ НАСТРОЕК ПИД РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РЕНТГЕНОВСКОГО МОНИТОРА СПИН-Х1-МВН

Гамков Д.М., Бунтов М.В., Арефьев В.А.

Институт космических исследований РАН

В настоящее время на международной космической станции (МКС) проводится эксперимент по высокоточной регистрации космического рентгеновского фона Вселенной, осуществляемый с помощью рентгеновского монитора всего неба СПИН-Х1-МВН. Поддержание стабильной температуры рентгеновских детекторов является критически важным фактором для обеспечения высокоточной регистрации космического рентгеновского фона Вселенной.

В данной работе рассматривается задача идентификации тепловой модели объекта управления и настройки ПИД-регуляторов при изменяющихся температурных условиях окружающей среды на примере автоматической системы обеспечения теплового режима (АСОТР) СПИН-Х1-МВН. Здесь объектом управления (ОУ) является блок рентгеновского детектора, управляемая и наблюдаемая величина — мощность и температура нагревателей соответственно.

Для рассмотрения различных подходов к идентификации математической модели ОУ, расчета и верификации коэффициентов ПИД регуляторов разработан программно-аппаратный комплекс испытательного стенда на базе опытного образца СПИН-Х1-МВН, позволяющий моделировать нестационарные внешние температурные условия.

С помощью программно-аппаратного комплекса разработана методика для проведения экспериментов по идентификации ОУ непосредственно на МКС и рассчитаны коэффициенты ПИД-регуляторов, удовлетворяющие необходимым требованиям по стабилизации температуры ОУ с учетом существующих ограничений АСОТР.

МЕТОДИКА НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ АЛГОРИТМА АВТОКОРРЕКЦИИ ДЕФЕКТНЫХ ПИКСЕЛЕЙ ДАТЧИКА ЗВЕЗДНОЙ ОРИЕНТАЦИИ

Дементьев В.Ю.

Институт космических исследований РАН

Выполнение задач, стоящими перед современными космическими аппаратами (КА), во многом определяется возможностью их работы в условиях интенсивного космического ионизирующего излучения. На околоземных орбитах, в которых функционирует большинство КА, наибольшую опасность представляют частицы радиационных поясов Земли (внутренний и внешний пояс Ван Аллена). Межпланетные КА, подвержены воздействию солнечных и галактических космических лучей, которые из-за особенностей магнитного поля Земли проникают также и в приполярные области.

Наиболее безопасными с точки зрения радиационной безопасности считаются полеты КА, проходящие в низких широтах, вдали от радиационных поясов. Напротив, движение КА в районе радиационных поясов или их пересечение значительно увеличивает риск получения критической дозы облучения. Такой контакт ведет к временным сбоям в работе бортовых систем и сокращению срока их службы. Наиболее враждебным по мощности является внутренний радиационный пояс, который содержит протоны с энергиями, достигающими до нескольких сотен мегаэлектронвольт. Частицы этого радиационного пояса подходят максимально близко к поверхности Земли в районе Южной Атлантики и Бразилии. Эта аномальная область связана с неоднородностью магнитного поля Земли и известна как Южно-Атлантическая магнитная аномалия. Период солнечной и геомагнитной активности также оказывает влияние на расположение поясов и их смещение относительно Земли. Таким образом, сложность радиационной обстановки, ее вариативность во времени накладывает отпечаток при планировании всех околоземных космических полетов: от низкоорбитальных спутников до геостационарных.

В условиях ухудшения радиационной обстановки в системе управления ориентацией КА могут возникать перебои. Обычно это связано с кратковременным ослеплением датчиков звездной ориентации от потока заряженных частиц. В то же время накапливаемая доза радиации ведет к более серьезным и долговременным последствиям: постепенной деградации матричного фотоприемника (МФП) и образованием на нем дефектных пикселей. Такие пиксели перестают реагировать на световой поток от звезд, сокращая полезную площадь МФП. Особенность таких пикселей - это повышенное значение сигнала с координатами МФП, не меняющимися от экспонирования к экспонированию. Единичное число дефектных пикселей практически не сказывается на работе звездных приборов и допускается по технологии производства современных МФП. Однако, рост их числа вследствие радиации со временем приводит к снижению эффективности работы звездных приборов, что обуславливает разработку мер по их парированию.

В связи с этим специалистами ИКИ РАН был разработан алгоритм поиска и коррекции дефектных пикселей, получивший практическую реализацию в составе программно-математического обеспечения датчика звездной ориентации. В докладе представлена методика отработки разработанного алгоритма при помощи специализированного аппаратно-программного комплекса, моделирующего небесную сферу. Данный инструмент позволяет в наземных условиях симулировать полет КА по заданной орбитальной траектории. Отображение звезд происходит за счет проектирования части астрономического каталога на

экран монитора, используя пересчет сферических координат звезд в их прямоугольные экземпляры. В результате их перемещения по экрану монитора создается иллюзия космического полета. Для имитации повреждения МФП дефектными пикселями на экране монитора моделировались неподвижные пиксели максимальной яркости.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОИСКА И КОРРЕКЦИИ ДЕФЕКТНЫХ ПИКСЕЛЕЙ НА МАТРИЧНОМ ФОТОПРИЕМНИКЕ ДАТЧИКА ЗВЕЗДНОЙ ОРИЕНТАЦИИ

Дементьев В.Ю., Кобелев С.А., Юматов Б.А.

Институт космических исследований РАН

В настоящее время датчики звездной ориентации получили широкое распространение в системах управления космическим аппаратом (КА). Эксплуатация таких приборов ведется в непрерывном режиме и покрывает весь срок службы КА. Однако в ряде миссий может наблюдаться неустойчивость в их работе, связанная с повышенным уровнем космического ионизирующего излучения. Космическая радиация относится к одним из самых неблагоприятных факторов, влияющих на КА и его бортовую аппаратуру. Высокоэнергетические заряженные частицы различной природы воздействует на электронные компоненты приборов, вызывая их постепенную деградацию и как следствие ухудшая их эксплуатационные характеристики.

Матричный фотоприемник (МФП) является одним из ключевых элементов звездного датчика ориентации, отвечающий за качество изображения звездного неба. Изменение его параметров вследствие радиации напрямую сказывается на решении задачи ориентации. Это объясняет непреходящее внимание разработчиков звездных приборов к изучению данного вопроса. Известно, что воздействие радиации сопровождается необратимыми изменениями в структуре кремния, используемого при изготовлении светочувствительных ячеек-пикселей матрицы. Вследствие радиации возникает разрушение кристаллической решетки кремния и перераспределение атомов в его структуре. Это приводит к появлению дефектных пикселей, которые содержат повышенный или нестабильный уровень темнового тока. Наличие в изображении звезды даже одного такого дефектного пикселя приводит к ошибке локализации ее энергетического центра. Приращение дефектных пикселей и увеличение доли локализованных звезд с искаженными координатами приводит к ошибке вычисления ориентации, провоцируя низкоточные измерения. Другой недостаток роста дефектных пикселей заключается в том, что они могут складываться в группы связанных пикселей, формируя самостоятельные объекты. Подобные объекты ничем неотличимы от изображений настоящих звезд и способны приводить к сбоям в определении ориентации. В связи с этим важную роль получают алгоритмические подходы, обеспечивающие надежное и высокоточное решение задачи ориентации в условиях повреждения МФП дефектными пикселями.

В докладе представлена радиационная обстановка на околоземных орбитах. Описываются радиационные пояса Земли и космические лучи, представляющие наибольшую опасность во время полета КА. Рассматриваются радиационные эффекты в МФП датчика звездной ориентации, проявляющиеся, в частности, образованием дефектных пикселей. Предложен алгоритмический метод борьбы с дефектными пикселями, осуществляющий их автоматический поиск и исправление. Разработанный алгоритм получил практическую реализацию в составе программно-математического обеспечения датчика звездной ориентации ИКИ РАН.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЗВЕЗД ДЛЯ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ ШТАТНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ДАТЧИКА ЗВЕЗДНОЙ ОРИЕНТАЦИИ

Дементьев В.Ю.

Институт космических исследований РАН

Наземная отработка датчика звездной ориентации неразделима связана с созданием программного обеспечения (ПО), позволяющего визуализировать изображения звезд в наземных условиях. Возможности натурального эксперимента имеют естественные стеснения, соединенные с погодными условиями, учетом влияния рефракции и др. Ограниченность натурального эксперимента, проявляется также и отсутствием условий, характерных для космического пространства: заряженные частицы различной природы, включая и принадлежащие собственной внешней атмосфере космического аппарата (КА), засветка поля зрения и др. Имитация таких условий, достоверность их воспроизведения - важная составляющая в процедуре проверки помехоустойчивости звездных приборов, эффективности заложенных внутренних алгоритмов защиты.

В ИКИ РАН для моделирования небесной сферы с наложением факторов внешней среды используется специализированное ПО, входящее в состав стендового комплекса. Данное ПО позволяет моделировать перемещение поля зрения прибора в соответствии с заданными орбитальными параметрами, отражая динамику движения КА вместе с прибором. В процессе моделирования происходит пересчет сферических координат звезд в прямоугольные и их проектирование на плоскость экрана монитора. Дополнительно на изображение, выводимое на монитор, могут быть наложены световые помехи и компонента фона, имитирующая засветку от Солнца или других ярких объектов. Многообразие вариантов движения с их вариациями открывает широкие возможности для отработки штатных режимов датчика звездной ориентации, направленных на проверку надежности определения ориентации по различным картинкам звездного неба. В докладе рассматривается одна из модификаций ПО, сохранившая преимущества прежних версий и получившая расширенный функционал в части моделирования помеховых факторов среды. Добавлена опция имитации дефектных пикселей, когда на фоне вывода небесной сферы, фиксированное число пикселей на экране монитора целенаправленно остается подсвеченным. При этом на матричном фотоприемнике (МФП) звездного прибора регистрируется тождественное число объектов, концентрирующихся точно в одном месте в виде совокупности пикселей. Это создает иллюзию покрытия МФП дефектными пикселями. Благодаря такой программной реализации стала доступной отработка специальных режимов датчика звездной ориентации, к числу которых относится режим автокоррекции дефектных пикселей, разработанный специалистами ИКИ РАН. Особенностью этого режима является автоматический поиск и компенсация дефектных пикселей, образованных на МФП прибора вследствие длительного космического ионизирующего излучения.

Взаимодействие с ПО получило комплексный характер, когда начальная информация об орбитальных параметрах и параметрах внешней среды может быть передана по локальной сети с внешнего компьютера. При обмене информацией компьютер стенда является сервером (исполнителем команд), а внешний компьютер - клиентом (задатчиком команд). Инициатором обмена служит ПО внешнего компьютера. Получив начальные параметры

моделирования запускается режим расчета орбитального движения и формирование с заданной частотой графического изображения на экране монитора стенда.

Также в разработанном ПО включена возможность вывода регулярной сетки точек заданной яркости, которая заполняет весь экран монитора. Эта функция реализована в рамках единого ПО и необходима для проведения калибровочных или юстировочных работ перед началом наземных испытаний.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФОРМЫ КОРПУСА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЁТОМ ОТДЕЛЕНИЯ ОТСЕКОВ ДЛЯ ОРБИТАЛЬНОГО МАНЕВРИРОВАНИЯ

Екимовская А.А.

ФГБОУ ВО НИУ "Московский авиационный институт"

В начале освоения космоса первые конструкции выполнялись шаровыми по многим причинам. Одна из них заключается в экстремальном свойстве шара, известном из вариационного исчисления – это геометрическое тело максимального объема при минимальной поверхности. В частности, мыльные пузыри принимают форму шара для минимизации энергии поверхностного натяжения плёнки. Однако при наблюдении мыльных пузырей мало кто обращает внимание на слипшиеся плёнки, которые имеют форму сферических сегментов, то есть усечённых сфер. В работе предлагается методика проектирования КА из модулей в виде сферических сегментов с внутренними перегородками [1]. Вариационная задача остаётся прежней – определить такие срезы сфер, одинаковые для всех модулей, чтобы отношение площади поверхности к объёму было минимальным для уменьшения массы корпуса и снижения тепловых потоков, или, что то же самое, отношение объёма к площади поверхности было максимальным. Выражение для исследуемой функции программируется на основе полученного аналитического выражения с учётом правил работы в среде Skilab. Например, арифметические операторы, кроме умножения и вычитания, пока применяются поэлементно, то есть перед ними ставится точка. Также вместо возведения в степень есть смысл применять умножение как более быструю компьютерную операцию, но это относится к области оптимального программирования и не существенно в этой работе. Самым простым способом проверить правильность полученных аналитических результатов является программная реализация целевых функций и их производных.

Для решения задачи оптимизации разработан специальный алгоритм.

1. Задаём условный радиус, проще всего задать $R=1$, отсека в виде сферы. Такое допущение не уменьшает общности задачи, полученные результаты в итоге пересчитываются для реальных значений по правилам геометрического подобия.

2. Задаются ограничения на величину относительного среза $x=h/R$ сферы, считая от её поверхности, для перехода к сферическому сегменту. Рассматриваются срезы только до большого круга сферы. Значение $x=0$ означает, что срез сферы нет, значение $x=1$ означает, что сфера превратилась в полусферу.

3. Задаётся диапазон и дискретный шаг изменения величины относительного среза $x=h/R$ сферы. На практике вполне реально выбрать дискретный шаг изменения относительного среза 0,001.

4. Задаются формулы для расчёта объёмов двух типовых тел. Первое типовое тело – это шар. Второе типовое тело – это срезанная часть сферы. Этого достаточно, чтобы вычислить объём любой изучаемой составной конструкции, но требуется следить, чтобы срезы сферы не пересекались.

5. Задаются формулы для расчёта площадей поверхностей трёх, а не двух, как в предыдущем пункте, типовых тел. Первое типовое тело – это сфера. Второе типовое тело – это срезанная часть сферы. Третье типовое тело – плоская круговая крышка-перегородка, закрывающая срез сферы. Объёма у плоской крышки-перегородки нет, поэтому в предыдущем пункте она отсутствует.

6. В программу вводится вручную, в диалоговом режиме:

- количество сферических отсеков в составной конструкции;
- количество срезов сфер, которое не обязательно совпадает с числом сфер, потому что один отсек может иметь несколько срезов;
- количество крышек-перегородок между сферическими сегментами, которое не обязательно равно числу сфер и срезов, так как в конструкции могут быть кратные перегородки, или их может не быть.

7. Записывается формула для расчёта объёма составной конструкции.

8. Записывается формула для расчёта площади поверхности составной конструкции.

9. Записывается формула для расчёта выбранного показателя качества (максимизация) составной конструкции – отношения объёма к общей площади поверхности $f=V/S$.

10. Строится график $f(x)$ зависимости показателя качества от величины среза.

11. Выполняется анализ графика на предмет наличия максимума.

12. С любой априорно заданной точностью определяется оптимальное значение относительного среза сферических блоков.

Исследован пример проектирования рациональной вращающейся конструкции КА, которая содержит 12 модулей, 24 среза, 20 перегородок. Конструкция корпуса содержит двойные перегородки, четыре центральных блока разделены одинарными перегородками. Для такой конструкции величина оптимального среза сфер равна $x=0,0824$, то есть 8,2% величины радиуса модуля. Двойные перегородки нужны для сохранения герметичности отсеков после их разделения с целью орбитального маневрирования [2].

Таким образом, комбинация сферических сегментов позволяет увеличить отношение объёма к площади поверхности ёмкости или корпуса и одновременно выполнить конструктивные требования по отделению модулей для орбитального маневрирования. Для каждой комбинации сферических сегментов, из которых собирается корпус вращающейся космической системы, существует свой оптимальный срез сферы, определяемый по предлагаемой методике. Расчётная программа отлажена, позволяет быстро определить величину оптимального среза сферы каждого модуля.

Литература:

1. Екимовская А.А. Проектирование кольцевого корпуса космического аппарата или ёмкости из сферических сегментов с внутренними перегородками / Труды Всероссийской научно-практической конференции "Авиация. Космонавтика. Будущее"; Москва (город Жуковский), 24 августа 2024 года. Спортивно-патриотический союз "Армада".- СПб: Научно-технологические технологии, 2024.-80 с.-С.43-46.-ISBN 978-5-907804-94-4.-
<https://elibrary.ru/item.asp?id=73403994>

2. Дроботов В.Б., Екимовская А.А. Сравнительный анализ форм лепесткового и традиционного тора для применения в конструкциях космических аппаратов / 23-я Международная конференция "Авиация и космонавтика 2024". 18-22 ноября 2024 года. Московский авиационный институт. Тезисы.- М.: Издательство "Перо 2024. [Электронное издание].-310 с.-ISBN 978-5-00258-198-6.-С.183-184.-<https://aik.mai.ru/files/abstracts2024.pdf>

СОЗДАНИЕ ПРИБОРА МАДИЗ

**Ефимкин А.Н.¹, Анохин С.Д.¹, Антонюк Г.И.²,
Баканов И.П.¹, Горбач Е.Ю.³, Кривачёв О.Р.⁴,
Куприянов Г.А.³, Семенова И.А.⁵, Тимохин Д.А.⁶,
Фокин В.А.⁷, Фомичев Т.А.⁸, Золотарев И.А.²**

¹ *Факультет космических исследований МГУ имени М.В. Ломоносова*

² *НИИЯФ МГУ*

³ *Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова*

⁴ *НИУ Московский авиационный институт*

⁵ *ГБОУ Лицей №150 Калининского района Санкт-Петербурга*

⁶ *НИУ Московский физико-технический институт*

⁷ *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

⁸ *НИУ Высшая школа экономики*

Матричный детектор излучения — это образовательный проект, научной задачей которого является изучение возможности детектирования радиации с помощью фотоматриц. Проект начал создаваться летом 2023 года в рамках проектной смены «Большие вызовы 2023» в Сириусе. Измерение радиации является важным направлением исследования космического пространства, особенно на полярной орбите. Прибор МАДИЗ запущен на эту орбиту. Он проводит наблюдения радиационного фона во время максимума солнечной активности. Важной особенностью прибора является простота детектирующей части. Это матрица фотокамеры. Схожие сенсоры установлены на многих кубсатах, поэтому алгоритмы, используемые на приборе, можно использовать на уже запущенных спутниках, и измерять радиацию сразу в разных точках орбиты в одно время. Наш прибор фиксирует пролеты отдельных частиц через матрицы. Особый интерес представляют солнечные протоны высоких энергий, так как они составляют значительную часть радиационного фона. Также их количество на околоземной орбите сильно меняется со временем.

Когда протон пролетает через сенсор камеры, он «возбуждает» пиксели и оставляет след на фотографии. Это мы называем треками. На снимке может быть огромное число этих частиц, так как сенсор состоит из 12 миллионов пикселей, а артефакт из 10-100 пикселей. Для того чтобы найти эти треки прибор обрабатывает изображение. На приборе МАДИЗ установлено 2 сенсора на расстоянии 2 мм. Общее количество треков говорит о радиационном фоне в этой точке орбиты. Это первый параметр, который измеряет наш прибор. Вторым параметром является направление прилета отдельных частиц. Если частица оставит след сразу на двух сенсорах, то можно отследить ее путь в пространстве между матрицами.

МАДИЗ запущен в ноябре на кубсате 6U «Альтаир» на полярную орбиту. Прибор состоит из двух основных частей. Это детекторная часть, которая состоит из двух Raspberry pi HQ camera, и вычислительная часть. Она состоит из Raspberry pi CM4. Эти части крепятся на спутник через алюминиевые пластины. Прибор имеет уменьшенную копию, она имеет меньший вес, меньшее потребление и одну камеру, но, как и основной прибор, будет измерять радиационный фон. Этот прибор был запущен на кубсате 3U «Рузаевка-390» в ноябре. Были проведены первые включения прибора МАДИЗ, в результате которых в разных частях орбиты зафиксировано разное количество частиц, что говорит о различном радиационном фоне в этих точках. Позже, когда алгоритм детектирования частиц будет доработан его можно загрузить на уже запущенные спутники, которые используют схожие матрицы.

РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНОГО ПРИБОРА ЗВЁЗДНОЙ ОРИЕНТАЦИИ ДЛЯ АСТРОИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Киселёв Д.А.

Институт космических исследований РАН

В настоящее время одной из важных задач является увеличение точности автономных навигационных систем летательных аппаратов. В управлении летательными аппаратами инерциальные навигационные системы чаще всего используются в качестве автономных навигационных средств. Однако эти системы имеют ряд недостатков, главным из которых является накопление ошибок в определении навигационных параметров со временем.

Повышение точности инерциальных навигационных систем достигается путем их совместного использования с другими навигационными приборами, например, с приборами звездной ориентации.

В данной работе под прибором звездной ориентации понимается устройство, предназначенное для определения угловой ориентации связанной системы координат космического аппарата в инерциальной системе координат. В составе навигационного комплекса космических аппаратов данные приборы способны обеспечивать высокоточное наведение космических аппаратов, а также коррекцию счисления координат и угловой скорости инерциальными навигационными системами.

Данная работа посвящена разработке прибора звездной ориентации для астроинерциальной системы. Особенность данного прибора заключается в реализации идеи построения звездного датчика на компонентной базе, состоящей из промышленных компонентов: цифровой камеры, объектива и отечественного микропроцессорного модуля DS-RK3568-EVB. Использование промышленных компонентов для разработки прибора звездной ориентации имеет свои особенности, связанные с калибровкой прибора, настройкой его оптических параметров на динамическом имитаторе звездного неба, а также с реализацией программного обеспечения прибора на процессорном модуле.

Целью данной работы является разработка системного программного обеспечения прибора, апробация математических алгоритмов определения угловой ориентации летательного аппарата на промышленных компонентах, а также моделирование работы прототипа прибора на динамическом имитаторе звездного неба.

В работе описан алгоритм вычисления параметров угловой ориентации и угловой скорости летательного аппарата. Приведена циклограмма работы прибора звездной ориентации с описанием логики его работы. Прототип прибора звездной ориентации обеспечивает выдачу навигационных параметров с частотой 4 Гц в базовом режиме работы.

Выполнено описание алгоритма цифрового накопления изображений звездного неба в режиме повышенной засветки, а также проведено моделирование работы данного алгоритма. При моделировании алгоритма цифрового накопления кадров звездного неба была повышена скорость вычислений за счёт функциональных возможностей процессорного модуля проводить параллельные арифметические операции. Была достигнута частота сложения кадров 30 Гц.

Результаты тестирования работы прибора звездной ориентации на базе промышленных компонентов отображены в виде графиков изменения углов ориентации (прямого восхождения, склонения и азимута) и угловой скорости летательного аппарата, которые были построены при моделировании процесса работы прибора на динамическом имитаторе звездного неба.

СОЗДАНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ ПИРОЛИТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЛУННОГО ГРУНТА

Кучуков А.В.

Институт космических исследований РАН

Одним из наиболее распространенных методов термического анализа является дифференциальный термический анализ. Для его применения к лунному грунту был разработан прибор ТА-Л.

Принцип работы прибора ТА-Л заключается в следующем. Внутри прибора находятся 8 пиролитических ячеек (далее – ячейка). Внутри каждой из них с помощью вспомогательных механизмов помещается порция лунного грунта массой порядка 1 грамма. Затем, с помощью электрического нагревателя ячейка нагревает порцию грунта до температуры 1000 °С. В процессе нагрева, для анализа химического состава выделяющихся из грунта газов, через грунт пропускают гелий, который, пройдя через грунт, уносит выделяющиеся газы по трубкам в другой прибор – в газовый хроматограф (ГХ-Л).

Поскольку внутри прибора имеется 8 электрических нагревательных элементов, остро встает вопрос поддержания теплового баланса для прибора в условиях работы на лунной поверхности. Для решения данной задачи необходимо разработать тепловую модель ячейки.

Ячейка представляет собой тонкостенный металлический цилиндр с внутренним диаметром 6 мм и длиной 20 мм. В качестве нагревателя выступает вольфрамовая проволока, намотанная на цилиндр. С целью уменьшения тепловых потерь, ячейка окружена несколькими тонкостенными экранами из ниобиевой фольги.

В ходе теплового моделирования определены потери тепла во время работы ячейки в виде теплового потока, распространяющегося с поверхности ячейки на остальные узлы прибора ТА-Л.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ФРТ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИМИТАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Липилин В.А., Семена Н.П., Бунтов М.В.

Институт космических исследований РАН

Существенную часть исследований в экспериментальной и теоретической астрофизике занимает область высоких энергий. Объектами в данной области являются активные ядра галактик, квазары, сверхновые, черные дыры, магнетары, межзвездный газ в скоплениях галактик и их взаимодействия, производящие колоссальные выбросы энергии благодаря своей массе, температуре или магнитному полю. Многие из таких взаимодействий сопровождаются излучением в рентгеновском и гамма диапазонах, которое может быть измерено с лучшей точностью, чем в радио и оптическим диапазонах, благодаря свойствам длины волны, накладывающим фундаментальные ограничения на проникающую способность и рассеяние излучения.

Экспериментальная часть исследований в области высоких энергий требует оборудования, обеспечивающего работу с переменным излучением в рентгеновском диапазоне в том числе в нижней части энергий от 0,2 до 10 кэВ. Регистрацию указанного излучения предполагается проводить с помощью космической обсерватории АРТ-Н и эксперимента МВН-М2, являющихся развитием обсерватории Спектр-РГ и эксперимента МВН. На этапе наземной отработки АРТ-Н и МВН М-2 требуется имитация рентгеновского излучения, приближенного к тому, что обсерватории ожидают регистрировать на небесной сфере, при том переменность имеет большое значение.

Имитацию переменного рентгеновского потока с частотными характеристиками порядка сотен килогерц предполагается осуществлять с помощью проектируемого стенда с рентгеновской трубкой с катодом на базе фотоэлектронного умножителя (ФРТ). ФРТ является относительно новым изделием, предназначенным в первую очередь для медицинских целей. Изготовитель предоставляет недостаточные данные о работе ФРТ, которые требуются для проектирования стенда под цели имитации излучения переменных астрофизических объектов, поэтому проводились работы по экспериментальному определению режимов ее работы.

В докладе приводится краткое описание используемой установки, условия проведения, важные ограничения и первые результаты экспериментов. В результатах показана зависимость интенсивности первичного рентгеновского излучения от поданных воздействий, показаны результаты переменного режима излучения, в том числе регистрация вторичного излучения от медной мишени.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ ИМИТАТОРА ЛУННОГО РЕГОЛИТА МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

Лысенко А.М.^{1,2}, Томилина Т.М.^{1,2}, Лисов Д.И.²,
Савватимова П.Р.^{1,2}, Митрофанов И.Г.²

¹ *Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН*

² *Институт космических исследований РАН*

В настоящее время в контексте освоения Луны большое внимание уделяется возможности использования местных ресурсов, таких как лунный реголит, для создания необходимой инфраструктуры непосредственно на месте и разработке соответствующих технологий.

Несмотря на то, что физико-химические свойства реголита как природного вещества детально изучены, его использование в качестве строительного материала требует дополнительных исследований, связанных с возможностью применения тех или иных технологий для этой цели. В качестве наиболее перспективной рассматривается аддитивная порошковая технология селективного лазерного сплавления (СЛС), которая изначально разрабатывалась для металлических порошков и требует адаптации для работы с таким особым материалом, как лунный грунт.

Ранее была доказана принципиальная возможность создания объёмных образцов из имитаторов реголита методом СЛС, в том числе и авторами данного доклада [1–3]. Однако переход от единичных малоразмерных образцов к масштабируемому производству трёхмерных структур требует дополнительного анализа технологии и материала. Основными задачами являются разработка методики и определение оптимальных параметров и условий создания трёхмерных объектов селективным лазерным сплавлением послойно путём формирования отдельных пересекающихся треков.

В докладе представлена методика нахождения оптимальных параметров СЛС – от исследования качества одиночных треков до определения физико-механических свойств полученных объёмных образцов.

Литература:

[1] Goulas A., Binner J.G.P., Harris R.A. et al. Assessing extraterrestrial regolith material simulants for in-situ resource utilization based 3D printing // *Applied Materials Today*. 2017. V. 6. P. 54-61.

[2] Томилина Т.М., Ким А.А., Лисов Д.И., Лысенко А.М. Эксперимент «Лунный Принтер» по лазерному сплавлению лунного реголита в космическом проекте «Луна-Грунт» // *Космические исследования*. – 2023. – Т. 61. – №. 4. – С. 311-321.

[3] Томилина Т.М., Ким А.А., Лисов Д.И., Лысенко А.М. Лабораторные испытания селективного лазерного сплавления имитаторов лунного реголита с различными гранулометрическими свойствами // *Космические исследования*. – 2024. – Т. 62. – №. 5. С. 525-541.

ЛУННАЯ АВТОНОМНАЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗИРУЕМАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ

Матюхин А.А., Семена Н.П., Коновалов А.А.

Институт космических исследований РАН

Тело на поверхности Луны сталкивается с экстремальными тепловыми условиями: днем на него воздействуют преимущественно тепловые потоки солнечного излучения (прямого и отраженного от лунной поверхности); тогда как ночью в качестве внешней нагрузки имеет место лишь незначительное собственное излучение Луны, ввиду чего происходит интенсивное охлаждение тела от собственного излучения и теплового контакта с поверхностью. Таким образом, тело на лунной поверхности сталкивается с чередованием “горячей” дневной и “холодной” ночной фазами, продолжительность которых составляет порядка четырнадцати земных суток, а общий перепад между максимальной полуденной температурой и минимальной температурой перед рассветом может достигать 300 К (в районе экватора).

Для поддержания допустимого диапазона температур используется система обеспечения теплового режима (СОТР), однако существенной проблемой, ограничивающей ее возможные варианты реализации в вопросе выбора средств подогрева, является продолжительность лунной ночи: химические источники тепла, как правило, работают в течение нескольких часов, но не суток; а отсутствие выработки электроэнергии от солнечных панелей не позволяет активно использовать электронагреватели. Оптимальным средством подогрева для СОТР лунных аппаратов являются радиоизотопные источники тепла (РИТ), но их применение без специальных термодиодов приводит к тому, что в дневное время РИТ будет дополнительной тепловой нагрузкой в дополнение к уже имеющимся существенным внешним тепловым воздействиям. Таким образом, можно сделать вывод, что определение параметров СОТР является по сути задачей оптимизации: подбора необходимого количества РИТ в зависимости от выделяемой ими мощности, достаточного для того, чтобы исследуемое тело “не заморзло” ночью; и расчета характеристик излучающих поверхностей, для охлаждения тела днем.

В качестве исследуемого тела в работе рассматривается платформа для размещения научной аппаратуры, содержащая в своем составе элементы СОТР, благодаря которым поддерживается допустимый для работы приборов диапазон температур. В первой части приведено математическое описание внешних тепловых воздействий: прямого и отраженного солнечного излучения, собственного излучения Луны – в зависимости от локального времени, места посадки, ориентации платформы и влияния окружающего рельефа. Во второй части приведена математическая модель, позволяющая получить температурные значения рассмотренных тепловых узлов. На ее основе проведено сравнение различных факторов, оказывающих влияние на тепловой режим исследуемого тела, и которые могут быть использованы для термостабилизации. Среди них: ориентация всей платформы и ориентации излучающих поверхностей элементов платформы, оптические характеристики излучающих поверхностей, различные варианты затенения (к примеру, случайное затенение от космического аппарата или специальное затенение при использовании жалюзи), тепловые сопротивления между элементами платформы (к примеру между излучателями и основными частями), тепловое сопротивление между платформой и стенкой космического аппарата, наличие термодиодов для средств подогрева и т.д.

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ QD-ФОТОДИОДА СОЛНЕЧНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОСТАВЕ НАУЧНЫХ ПРИБОРОВ, ТРЕБУЮЩИХ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ НА СОЛНЦЕ

Матюхин А.А., Соловьев К.Ю.

Институт космических исследований РАН

QD-фотодиоды (Quadrant Detector, квадрантные/четырёхэлементные фотодиоды) являются одним из наиболее часто используемых типов чувствительных элементов солнечных датчиков. В особенности их выгодно брать за основу солнечного датчика, если тот применяется в составе комплекса научной аппаратуры, поскольку зачастую в этих случаях требуется умеренная точность ($0,1 \dots 1^\circ$), для которой использование матричных фотоприемников будет нецелесообразно.

Однако ввиду того, что QD-фотодиоды определяют величину отклонения солнечного потока от нормали по соотношениям токов фотодиодов, имеющих достаточно малую величину, для выполнения требований по точности необходимо обеспечить усиление исходного сигнала и перевод его в цифровой вид с достаточным разрешением. При этом возникают ограничения, связанные как с диапазоном получаемых сигналов, так и с шумовой составляющей, вносимой компонентами измерительной схемы, поэтому при проектировании датчика особое значение имеет схемотехника усилительных каскадов и параметры устройства аналогово-цифрового преобразования.

В первой части доклада рассмотрено несколько подходов к обработке сигналов с QD-фотодиода. Рассмотрены особенности, связанные с применением этих подходов в задаче определения величины отклонения солнечного потока. Обоснован выбор решения для использования в макете солнечного датчика. Во второй части доклада приведено описание макета солнечного датчика, а также поворотного стенда. Приведены полученные результаты экспериментальной отработки.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ ПО СОЛНЦУ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ СВЕРХМАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Мельников Д.О., Николаев А.О., Семенович С.Н.

Факультет Радиофизики и Компьютерных технологий Белорусского Государственного Университета

Современные космические технологии активно развиваются в направлении миниатюризации спутниковых систем, что делает наноспутники (массой от 1 до 10 кг) важным инструментом для решения широкого спектра задач. Одной из ключевых проблем при разработке наноспутников является обеспечение точной ориентации в пространстве, что особенно важно для выполнения задач, связанных с наведением на целевые объекты, такими как Солнце, Земля или звезды. Ориентация по Солнцу является одним из наиболее распространенных методов определения положения спутника в пространстве благодаря доступности и высокой интенсивности солнечного излучения. Однако ограниченные характеристики наноспутников накладывают жесткие требования на алгоритмы и системы ориентации, которые должны быть компактными, энергоэффективными и достаточно точными.

В данной работе разработан и протестирован алгоритм определения одноосной ориентации по Солнцу в рамках разработки учебного аппаратно-программного комплекса сверхмалых космических аппаратов (СМКА) и наземного комплекса управления (НКУ) для имитации группового полета. Алгоритм основан на обработке данных с датчиков освещенности, расположенных на боковых гранях модели СМКА, и гироскопа, что обеспечивает необходимую точность определения углового положения спутника относительно направления на имитатор Солнца. Тестирование качества алгоритма определения ориентации проводилось на управляемой поворотной платформе. Для отработки алгоритмов определения и управления ориентацией используется струнный подвес.

МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНАЯ КАМЕРА С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ 3-5 М ДЛЯ ВИДИМОГО И БЛИЖНЕГО ИК ДИАПАЗОНА

Нога А.Р., Говоров Т.К., Кондратьев М.А.,
Кайдараква В.С., Дружин В.В., Носов П.А.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Разработана мультиспектральная камера в качестве полезной нагрузки для малых космических аппаратов обеспечивающая высокое качество изображений в видимом и коротковолновом ИК диапазонах.

Входной объектив выполнен по схеме Кассегрена, что обеспечивает работу в широком спектральном диапазоне и уменьшает габариты устройства. Для разделения светового потока на спектральные каналы используется дихроичный светоделитель, пропускающий SWIR-излучение и отражающий видимый диапазон. Согласующая оптическая система включает фокусирующие объективы, компенсирующие аберрации и повышающие качество изображения [1]. В SWIR-канале для формирования изображения в узком спектральном диапазоне применяется перестраиваемый акустооптический фильтр (АОФ) [2], а в видимом диапазоне — светоделительная призма. Изображения каждого спектрального канала регистрируются матричными приемниками, обеспечивающими пространственное разрешение 3-5 м.

Литература:

1. Запрягаева Л.А., Свешникова И.С., Расчет и проектирование оптических систем: [в 2 ч.]. Москва: Изд-во МИИГАиК, 2009.
2. Колесников А.И., Каплунов И.А., Молчанов В.Я., Ильяшенко С.Е., Гречишкин Р.М., Перестраиваемый акустооптический фильтр на основе кристаллов парателлуриата, ИЗВ. ВУЗОВ. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. 2012. Т.55, №9.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ЭЛСПЕК

Петух А.И.^{1,2}, Моисеенко Д.А.¹, Матюхин А.А.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

В докладе представлена концепция электронно-оптической схемы электронного спектрометра ЭЛСПЕК, рассматриваются принципы его функционирования, основные аналитические характеристики и возможность его быстрого прототипирования с использованием аддитивных технологий. Данный прибор предназначен для регистрации параметров электронов солнечного ветра и космической плазмы. Приборы аналогичной конструкции могут быть использованы для исследования процессов в космической плазме в окрестностях планет – например, в рамках миссии Венера-Д. К основным научным задачам этой миссии, которые может решить спектрометр, относится: изучение изменения характеристик ионосферы Венеры под влиянием солнечного ветра, исследование влияния флуктуаций солнечного ветра и межпланетной плазмы, корональных выбросов на взаимодействие солнечного ветра с Венерой и изучение пересоединения в хвосте магнитосферы планеты. Также прибор может быть использован для задач мониторинга солнечного ветра или для регистрации параметров электронов в полярных областях Земли.

В ходе моделирования электростатической оптики спектрометра были определены его основные аналитические характеристики – поля зрения, энергетическое и угловое разрешение и рассчитан геометрический фактор. Отдельное внимание уделено прототипу прибора и его лабораторным испытаниям. Размеры прибора составляют 200x200x200мм.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ ОТЛАДКИ ДЛЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ СВЕРХМАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Прохорчик А.О., Николаев А.О., Огурцов А.М.

Белорусский государственный университет

При разработке сверхмалых космических аппаратов (СМКА) необходимость отладки готового прототипа требует надежного канала передачи данных. Как правило, основным методом связи между СМКА и наземным сегментом является радиопередача, однако её использование на этапе испытаний может быть ограничено рядом факторов. Во-первых, частотный ресурс, выделенный для связи с космическими аппаратами, ограничен и регулируется международными и национальными организациями, что затрудняет свободное использование радиоканала в лабораторных условиях. Во-вторых, возможны помехи от других радиоустройств, работающих в том же диапазоне, особенно в условиях насыщенной радиочастотной среды. В-третьих, параллельная разработка различных бортовых подсистем, включая штатную систему управления и мониторинга бортовых систем на базе наземного комплекса управления и бортовых радиомодулей, может приводить к нецелесообразности использования радиомодуля, что делает его применение непрактичным на ранних стадиях отладки функциональных узлов СМКА. Все эти факторы обуславливают необходимость создания альтернативного метода передачи данных для оперативной диагностики и управления системой в процессе разработки.

Созданный модуль отладки предназначен для упрощения процесса разработки и испытаний СМКА. Модуль разработан на базе микроконтроллера Raspberry Pi Pico W и обеспечивает беспроводную связь в Wi-Fi диапазоне 2412–2472 МГц. Питание может быть обеспечено как от системы энергоснабжения СМКА, так и от внешних источников питания. Модуль подключается к общей коммуникационной шине СМКА с возможностью отправки и получения информационных и командных пакетов. Так же на модуле предусмотрена система записи и расшифровки необходимых информационных или командных пакетов в файл для дальнейшей обработки полученных данных.

Предлагаемый модуль разработан в рамках создания образовательного аппаратно-программного комплекса СМКА для отработки группового полета и может быть представлен как независимая подсистема бортовой аппаратуры, обеспечивающая мониторинг, диагностику и управление аппаратными узлами в процессе испытаний. Он играет ключевую роль на этапе наземной отладки и тестирования систем ориентации, стабилизации, энергообеспечения и передачи данных, предоставляя разработчикам удобный инструмент для удаленного взаимодействия с платформой.

При разработке образовательной модели СМКА данный модуль позволяет студентам и инженерам-исследователям изучать принципы функционирования автономных космических систем, проводить эксперименты с различными методами управления и связи, а также тестировать алгоритмы ориентации и стабилизации без сложных инфраструктурных решений, требующих специализированных радиочастотных ресурсов. Модуль может быть адаптирован под различные конфигурации СМКА и использоваться в составе как лабораторных стендов, так и полноценных инженерных моделей наноспутников.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АРАМИДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕРМОДЕСТРУКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ

Рычкова А.Д., Аревков М.А.

Амурский государственный университет

Развитие ракетно-космической техники сопровождается ростом требований к материалам, предназначенным для отделяющихся частей ракет-носителей. Эти элементы конструкции должны работать в условиях высоких температурных, динамических и аэродинамических нагрузок, обеспечивая надежность операций и минимальное воздействие на окружающую среду. Традиционно для данных целей применяются металлические сплавы и углеродные композиты. Однако, эти материалы имеют определенные ограничения, такие как высокая плотность и стоимость. В этом случае актуальность приобретают полимерные композиты с включением арамидных волокон. Арамидные композиционные материалы демонстрируют сочетание малой массы и высокой прочности, что делает их востребованными для применения в высоконагруженных конструкциях.

Одним из ключевых факторов реализации термодеструктивных процессов является способность материалов к контролируемому сгоранию. Согласно исследованиям Трушлякова и соавторов [1], внедрение энергетических материалов (ЭМ) в полимерные композиционные материалы (ПКМ) позволяет достичь температур зажигания, необходимых для сгорания отделяемых фрагментов при повторном входе в атмосферу. В патенте [2] указывается необходимость разработки материалов, способных полностью сгорать до попадания на землю, что снижает негативное воздействие на окружающую среду.

Арамидные волокна выделяются среди других полимерных волокон благодаря своим физическим и механическим характеристикам. Предел прочности арамидных волокон сопоставим с углеволокном, но у арамидов значительно выше удлинение при разрыве, что позволяет эффективнее поглощать ударные нагрузки и снижать риск трещинообразования. Углеволокно обладает более высоким модулем упругости, но его низкое удлинение увеличивает хрупкость материала. В свою очередь, арамиды устойчивы к вибрациям и температурам до 400°C благодаря высокой пластичности. Они имеют низкую воспламеняемость и способность к карбонизации при температурах выше 350°C, что снижает риск самовозгорания. Склонность арамидов к впитыванию влаги компенсируется полимерной матрицей, которая защищает их от ультрафиолетового излучения. Эпоксидные смолы являются оптимальными для использования с арамидными волокнами из-за хорошей адгезии. Эксперименты показали, что арамидно-эпоксидные композиты имеют улучшенные механические свойства, включая снижение пористости и увеличение прочности при изгибе [3].

В качестве энергетического модуля были рассмотрены смесевые твердые ракетные топлива с окислителями, такими как нитрат калия (KNO_3) и пероксид бария (BaO_2), в сочетании с металлами (магний, алюминий), которые способны гореть в вакуумных условиях [4]. Смесью нитрата калия (KNO_3) и магния (Mg) была признана наиболее эффективной для применения в ЭМ [5]. Эта смесь обеспечивает стабильное горение в вакууме благодаря разложению KNO_3 , который выделяет кислород для поддержания горения. Высокая реакционная способность и низкая температура воспламенения магния позволяют обеспе-

чить интенсивное и устойчивое горение. К тому же, температуры, достигаемые в результате химических реакций, достаточны для инициирования термодеструкции полимерного композита.

Таким образом, арамидные волокна проявляют значительные преимущества благодаря высокому удлинению при разрыве и способности поглощать энергию, что снижает риск трещинообразования и обеспечивает устойчивость к вибрациям и температурам до 400°C. В сочетании с эпоксидными смолами, эти композиты демонстрируют высокие механические свойства и меньшую хрупкость по сравнению с углеволокном. Смеси, такие как нитрат калия и магний, обеспечивают стабильное горение в вакуумных условиях, что расширяет их применение в ракетной технике и повышает эффективность и безопасность космических систем.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАНИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ И СОПОСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ, ПОЛУЧЕННЫМИ НА ПРИБОРЕ КОДИЗ 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,
Садыков А.М.^{1,2}

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

² *Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

³ *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.

В аппаратуре, наряду с режимом измерения потоков частиц, регистрируемых детекторами, был предусмотрен режим регистрации энерговыделений в детекторах прибора. Было получено 13 мегабайт информации в данном режиме. Это создало возможность для отработки методики оценки спектров регистрируемых частиц по набору данных об энерговыделениях в детекторах.

Первым шагом в создании такой методики стало расчетное моделирование показаний детекторов с помощью программного комплекса GEANT-4 и сопоставление результатов моделирования с полученными экспериментальными данными. В докладе представлена исходная информация по геометрии детекторной системы, условиям и о результатах расчетов, а также предварительные оценки сопоставимости расчетных и экспериментальных результатов.

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СПУТНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИСПОЛЬЗУЮЩИЙ QKD ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Санталова Я.А.

ФГБОУВО Технологический университет им.А.А Леонова

В современном мире, где глобальная безопасность и защита информации становятся все более актуальными, разработка новых технологий для обеспечения конфиденциальности и надежности передачи данных является приоритетной задачей. В связи с этим, проект “Разработка концепции спутника специального назначения использующий QKD для передачи данных” приобретает особую значимость.

Для нашей страны актуальность данного проекта обусловлена необходимостью обеспечения безопасности и защиты критически важной информации, а также возможностью использования полученных данных в различных сферах, включая военное дело, разведку и гражданскую инфраструктуру. Разработка такого спутника станет важным шагом в направлении создания надежных и безопасных систем передачи данных, соответствующих современным вызовам и угрозам.

Цель проекта. Данный проект предполагает разработку спутника (группировку спутников), оснащенного спектрометром, способным анализировать местоположение различных наземных объектов в определенном температурном диапазоне. Также, создание надежной и защищенной системы связи, способной передавать данные не только на землю, но и между спутниками группировки. В условиях текущей глобальной ситуации, для нашей страны становится особенно актуальным разработка КА, способного выполнять следующие функции:

1 Анализ местоположения наземных объектов: Спутник будет оснащен спектрометром, который позволит анализировать местоположение различных наземных объектов в определенном температурном диапазоне. Это обеспечит возможность получения точных и оперативных данных о наземной обстановке.

2 Обработка и анализ информации: Собранная информация будет обрабатываться непосредственно на борту спутника, что позволит оперативно выявлять потенциально важные или угрожающие объекты.

3 Квантовое распределение ключей (QKD): Гарантирует, что передаваемые данные будут защищены от несанкционированного доступа, так как любая попытка перехвата будет обнаружена благодаря квантовым свойствам используемых систем.

Разработка такого космического аппарата и группировки позволит нашей стране эффективно защищать критически важную информацию и отвечать на современные вызовы в области глобальной безопасности и информационной защиты.

Описание технологии QKD. Quantum Key Distribution (QKD), или квантовое распределение ключей, представляет собой технологию, предназначенную для безопасной передачи секретных цифровых ключей, необходимых для защиты высокочувствительных данных. Эта технология нашла широкое применение в различных отраслях, где защита информации имеет критическое значение[2].

Параметры орбиты и передача данных. Спутники будут находиться на НОО, что обеспечит оптимальные условия для передачи данных. Параметры орбиты подобраны таким образом, чтобы каждый спутник мог не только принимать и передавать данные на землю, но и взаимодействовать с другими спутниками в группировке.

Спутники, находящиеся в тени Земли, смогут принимать обратные сигналы от других спутников, находящихся вне тени, и передавать их дальше с использованием QKD. Это позволяет обеспечить непрерывную связь и минимизировать потери данных, даже когда отдельные спутники находятся вне зоны видимости земли.

Полезная нагрузка спутников. Каждый спутник в группировке будет нести на борту ИК-спектрометр, который сможет сканировать объекты на Земле в инфракрасном диапазоне. Полученная информация обрабатывается на борту спутника и передается на землю с использованием квантового шифрования ключа[1].

Квантовое шифрование и протокол BB84. Для обеспечения конфиденциальности передачи данных используется квантовый протокол BB84. Этот протокол основан на передаче информации с помощью квантовых состояний (запутанных фотонов). Принцип работы протокола заключается в следующем[2]:

1. Генерация ключа: На земле генерируется пара ключей — открытый и закрытый. Открытый ключ передается по обычному каналу связи, а закрытый остается у отправителя.

2. Передача квантовых состояний: Отправитель и получатель обмениваются квантовыми состояниями (фотонами), которые невозможно перехватить незаметно. Любые попытки перехвата изменяют состояние фотонов, что обнаруживается получателем.

3. Шифрование данных: Открытый ключ используется для шифрования данных, которые затем передаются по открытому каналу связи.

4. Проверка целостности ключа: Получатель использует закрытый ключ для проверки целостности ключа и, следовательно, подлинности передаваемых данных.

Траектория полета и сеансы связи. В ходе разработки была просчитана траектория полета спутников, а также сеансы связи и нахождение спутников в зонах тени, полутени и видимости. Это позволило оптимизировать параметры орбиты и минимизировать потери данных.

Наглядный эскиз спектрометра. Создан наглядный эскиз, демонстрирующий строение ИК-спектрометра[4]. Спектрометр находится в специальном контейнере, который имеет крепление для дополнительного контейнера с аккумуляторами. Это обеспечивает надежную работу прибора и его защиту во время полета.

Схема строения БЦВС и БАКИС. Составлена схема строения бортовой цифровой вычислительной системы (БЦВС) и блока космических интерфейсов (БАКИС). В схему внедрены все необходимые элементы для работы спектрометра, такие как интерфейсы передачи данных, системы управления и питания. Это позволило грамотно расположить все компоненты и обеспечить их эффективное взаимодействие[5].

Заключение. Проект представляет собой инновационную концепцию спутников, в дальнейшем группировки спутников специального назначения, использующих QKD для передачи данных. Внедрение данной технологии позволит создать надежную и защищенную систему связи и мониторинга.

Литература:

1. A comprehensive design and performance analysis of LEO satellite quantum communication J-P Bourgoin¹, E Meyer-Scott¹, B L Higgins¹, B Helou¹, C Erven¹, H Hubell¹, B Kumar², D Hudson², I DSouza², R Girard³, R La amme¹ and T Jennewein,²⁰²²

2. <https://proquant.ru/quantums/whatisit/keys/kvantovoe-raspredelenie-klyuchey>

3. Barucci et al. Earth, Planets and Space, MIRS: an imaging spectrometer for the MMX mission,²⁰²¹

4. QEYSSAT: a mission proposal for a quantum receiver in space T. Jennewein ^a, J. P. Bourgoin^b, B. Higgins^a, C. Hollowaya, E. Meyer-Scotta, C. Ervena,^c B. Heima,^d Z. Yana,^e H. Hübela ^f, G . Weihsa,^g E. Choia, I. d’Souzab, D. Hudson^b, R. Laflamme^a

5. «Бортовые системы управления космическими аппаратами» под редакцией д.т.н, профессора А.С Сыроева; Москва,2010 г.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ГРУНТОЗАБОРНОГО УСТРОЙСТВА

Тарасов Е.О., Мокроусов М.И., Аникин А.А.,
Митрофанов И.Г.

Институт космических исследований РАН

В настоящее время разработка контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) является неотъемлемой частью разработки прибора для любого космического эксперимента. В Институте космических исследований РАН ведутся работы по созданию КИА, обеспечивающей функционирование и высокоточную регистрацию параметров функционирования грунтозаборного устройства (ГЗУ) для космической миссии «Луна-Ресурс-1» (ОА) в условиях наземных отработок.

КИА предназначена для имитации всех интерфейсов космического аппарата (КА), командования аппаратурой, непрерывного мониторинга и визуализации параметров и динамических характеристик ГЗУ в процессе бурения, захвата и транспортировки проб реголита. В докладе рассматриваются принципы проектирования контрольно-измерительной аппаратуры грунтозаборного устройства, представлены архитектурные и инженерные решения конструкции, направленные на повышение точности измеряемых параметров и надежности работы КИА.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНОГО ОБЛИКА ПОСАДОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДОСТАВКИ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ НА ПОВЕРХНОСТЬ НЕБЕСНОГО ТЕЛА (ЛУНЫ)

Тимофеев Ю.Ю.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Доставка полезного груза на поверхность небесных тел является ключевой задачей освоения планет и исследования космоса.

Освоение Луны необходимо для основания на ее поверхности станций, в которых будут жить и работать космонавты, постройка пусковых комплексов для осуществления запусков космической техники по межпланетным траекториям. А также, в наблюдении движения космических тел (астероидов, метеоритов и т.д.) и корректировке их движения.

Для осуществления идей освоения Луны необходима организация доставки на нее тяжелых и крупногабаритных объектов, таких как: неразборные модули станций, научная аппаратура, техника для реголитной аддитивной 3D-печати и т.д.

В данной работе выполнено расчетно-экспериментальное исследование определения механических свойств посадочного модуля, и включает три основных этапа:

- проектные изыскания;
- проектная разработка посадочного модуля;
- разработка систем посадки.

Проектные изыскания служат для формирования целей разработки, обоснования решения о создании ПМ и определения его технического облика.

Исходные данные проекта являются результатом предварительных изысканий. В данной работе решается задача проектной разработки, которая вытекает из необходимости иметь проект, обеспечивающий будущие экспедиции и транспортные операции между Землей и Луной, и включает в себя выбор, разработку и определение следующих материалов:

- компоновочной схемы ПМ;
- баллистического расчета;
- основных проектных характеристик ПМ;
- требований к конструкции;
- действующих нагрузок;
- расчет на прочность ПМ.

Результатами проведенной работы стали проектный облик посадочного устройства, его конструктивно-компоновочная схема и схема членения.

Литература:

1. Баллистика и навигация космических аппаратов: Учебник для вузов / Н. М. Иванов, Л. Н. Лысенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2004. – 544 с.: ил.
2. Гуцин В. Н. Основы устройства космических аппаратов: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2003. – 272 с.: ил.
3. Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных космических исследований / Сост. В.В. Ефанов, И.Л. Шевалев; Под ред. В.В. Ефанова, К.М. Пичхадзе: В 3-х т. Т 1. 2-е изд., перераб. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2013. – 492 с.

4. Мишин Ю.Н., Защирицкий С.А., Новичков В.М. Измерения параметров напряжённо-деформационных состояний конструкций при бросковых испытаниях космических аппаратов // Вестник НПО Лавочкина. – 2023. – №3. – с.44-48.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ПРЕЦИЗИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА К УДАРАМ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА И МИКРОМЕТЕОРОИДОВ ЗА СЧЁТ ВНЕДРЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Халтурина О.Д.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

В период эксплуатации автоматические космические аппараты (КА) подвергаются различным рискам, которые могут вывести его из строя и преждевременно прервать реализацию миссии. Это могут быть аэродинамические возмущения при выведении полезной нагрузки на орбиту, радиация, воздействие солнечного ветра, источники внутренних возмущений, возникающие при неправильной компоновке бортового оборудования, однако наибольшую угрозу несут воздействия частиц метеороидов и обломков космического мусора, движущиеся со скоростями порядка 7-20 км/с.[1]

Наиболее уязвимыми элементами аппарата являются так называемые прецизионные конструкции, входящие как в служебные модули КА, так и являющиеся полезной нагрузкой (ПН): телескопы, камеры видимого, инфракрасного, ультрафиолетового спектра, протяжные упругие элементы, антенны, панели солнечных батарей, штанги и другие.[2]

Как правило, для защиты КА от воздействий метеороидно-техногенных тел (МТТ) применяются защитные щиты Уиппла, однако далеко не всегда их использование целесообразно, особенно в конструкциях малых космических аппаратов (МКА), выводимых на низкие околоземные орбиты (НОО).

В связи с ограничениями, накладываемыми на МКА по массе и габаритам, при проектировании его ответственных деталей, предлагается применение композитного материала на основе полифениленсульфида, так как подобные материалы характеризуются более высокими показателями надёжности и ударной вязкости разрушения при меньшей массе и плотности.[3]

В рамках данной работы были осуществлены следующие задачи:

– проведено обзорно-аналитическое исследование характеристик околоземного космического пространства (ОКП) на предмет метеороидно-техногенных факторов, размеров объектов космического мусора и микрометеороидов, методов диагностики их распределения, риска столкновения с действующими КА и существующих способов защиты;

– Приведена симуляция соударения ударника из сплава АМг6, имитирующего космический мусор с остронаправленной антенной (ОНА), при различных углах подлёта. Анализ произведён в программе Ansys LS-Dyna при помощи метода сглаженных частиц (SPH) [4-5];

– сформулированы рекомендации по улучшению прочностных характеристик материала СЧ КА, его стойкости к внешним высокоскоростным воздействиям при обеспечении оптимальной массовой и прочностной эффективности.

Список источников:

1. Зелёный Л.М. Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты, угрозы / Под редакцией Л.М. Зеленого, Б.М. Шустова – 2-е изд. испр. – М.: ИКИ РАН, 2019.

236 с.

2. Телепнев П.П. Методы виброзащиты прецизионных космических аппаратов / П.П. Телепнев, Д.А. Кузнецов, под ред. д.т.н. проф. В.В. Ефанова– Химки: Издатель АО «НПО Лавочкина», 2019. 263 с.: ил.

3. Reid S.R. Impact Behavior of fibre-reinforced composite materials and structures / S.R. Reid; edited by S.R. Reid and G. Zhou. – Boca Raton Boston New York Washington, DC: CRC Press, 2000. – 318 p.

4. Фомин В.М. Высокоскоростное взаимодействие тел / В.М. Фомин, А.И. Гулидов, Г.А. Сапожников [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 600 с.

5. Monaghan, J. J. Smoothed Particle Hydrodynamics. Annual Review of Astronomy and Astrophysics. – 1992. – 30(1), 543–574.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ РАДИАЦИОННО-СТОЙКОЙ СИСТЕМЫ НА КРИСТАЛЛЕ В РАЗРАБОТКЕ БОРТОВЫХ СИСТЕМ СБОРА ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Щепотьев Н.Ю., Моисеев С.Е., Никифоров А.В., Семенов А.В., Матюхин А.А., Соловьев К.Ю., Ануфрейчик К.В.

Институт космических исследований РАН

При разработке бортовых систем, архитектура «процессор + программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС)» имеет большие преимущества, когда, при ограниченных ресурсах, необходимо сочетать гибкость программного обеспечения, выполняемого на процессоре, и высокую производительность параллельной обработки на ПЛИС. Процессор обеспечивает управление потоками данных, их обработку и организацию в памяти, тогда как ПЛИС выступает в роли высокоскоростного параллельного контроллера с поддержкой стандартных и специализированных интерфейсов. В классической реализации эти компоненты представляют собой отдельные микросхемы, для реализации взаимодействия между которыми требуется использование дополнительных элементов: тактовых генераторов, пассивных элементов (резисторов, конденсаторов), микросхем памяти и других компонентов. Кроме того, разработчикам необходимо проектировать интерфейсы взаимодействия между процессором и ПЛИС, включая выбор протоколов обмена данными, их аппаратную реализацию и обеспечение стабильной связи.

В то же время известны микросхемы типа система на кристалле (СнК), представляющие собой интегрированное решение, объединяющее ПЛИС и процессорное ядро. Сокращение компонентной базы за счет замены двух микросхем (процессор и ПЛИС) на одну даёт несколько ключевых преимуществ. Во-первых, уменьшает количество необходимых дополнительных компонентов и соединений, что повышает отказоустойчивость устройства и снижает его габариты, что особенно важно для компактных решений. Во-вторых, позволяет использовать встроенные интерфейсы, вследствие чего пропадает необходимость в реализации интерфейса для обмена данными и интерфейса конфигурирования ПЛИС процессором. Последнее позволяет хранить файлы конфигурации процессора и ПЛИС в одной внешней микросхеме ПЗУ. Таким образом, микросхемы типа СнК, в частности, могут быть перспективным решением в области разработки бортовых вычислительных комплексов и систем сбора и обработки информации космических аппаратов.

В первой части работы приведено описание отладочной платы, реализованной на основе отечественной микросхемы 5510ТС028. Во второй части приведены результаты тестирования, включающие измерение максимальной тактовой частоты ПЛИС и процессора, измерение скорости передачи данных между процессором и ПЛИС по шине АРВ и линиям general purpose input/output (ГПИО-РЛ), и проверок блоков внутренней памяти ПЛИС, блоков фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и основных интерфейсов процессора.

КОСМОС В СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ



СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УДАЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

Варрес К.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Тезисы по теме «Современные вызовы правового регулирования очистки космического мусора и перспективы их преодоления»

1) Терминологическая неопределённость

Международно-правовые противоречия в решении проблемы космического мусора возникают на этапе формирования терминологического аппарата. Стоит отметить, что на сегодняшний день не существует общепринятого и юридически значимого определения «космического мусора», что вызывает серьёзные противоречия на начальном этапе борьбы с упомянутым вызовом. В повседневной практике для обозначения этой проблемы используется термин «космический мусор» или «space debris». При этом перевод слова «debris» в качестве мусора не имеет первостепенного значения. Однако необходимость универсального определения космического мусора остаётся одной из приоритетных задач в области международного космического права, поскольку перед тем, как «очищать» космическое пространство, прежде всего, стоит определиться с объектами космического мусора, подлежащих «активному удалению».

2) Отсутствие юридически обязательных норм

Существующие международные договоры, включая Договор о космосе 1967 года, содержат общие принципы предотвращения вредного загрязнения космического пространства, но не предусматривают конкретных обязательств по устранению космического мусора. Правовые механизмы регулирования носят рекомендательный характер, что затрудняет их применение. Например, в ст. IX Договора по космосу говорится: «Государства — участники Договора осуществляют изучение и исследование космического пространства, включая Луну и другие небесные тела, таким образом, чтобы избегать их вредного загрязнения». Тем не менее, Договор по космосу не обязывает страны-участницы принимать меры предотвращения загрязнения космического пространства. Вместе с тем ни данный договор, ни другие соглашения по космосу не содержат указаний ни на его источник, ни на то, что представляет собой его загрязнение.

3) Проблема определения права собственности космического мусора

Согласно ст. VIII Договора по космосу, государство, запустившее космический объект в космос, сохраняет за ним юрисдикцию и контроль. При этом важно помнить, что космический мусор остаётся космическим объектом. Это означает, что нефункциональные объекты продолжают оставаться собственностью государства или юридического лица, запустившего космический объект. Также государство несёт ответственность за ущерб, нанесённый космическим объектом. Однако в международных договорах отсутствуют чёткие механизмы правового регулирования космических объектов, представляющих угрозу для других космических аппаратов. Более того, вопрос передачи прав собственности на объект космического мусора остаётся нерешённым.

4) Проблема ответственности государств в вопросе образования и «активного удаления» космического мусора

Отсутствие чётко установленных механизмов ответственности государств за образование и утилизации космического мусора создают дополнительные недопонимания. Согласно Договору по космосу Конвенции о международной ответственности за ущерб государства несут ответственность за ущерб, нанесённый их космическими объектами на Земле или в космосе. При этом необходимо установить вину государства или государств, нанесших ущерб другому участнику космической деятельности. Однако вопрос правоприменения данных положения вызывает сложности. Помимо этого, Конвенция об ущербе не учитывает фактор образования космического мусора, представляющего угрозу для космических объектов. В то же время сохраняются противоречия в вопросе ответственности государств при «активном удалении» объектов космического мусора. Вопрос солидарной, пропорциональной или иной ответственности при очистке околоземной орбиты остаётся открытым.

5) «Новая надежда» или роль частно-государственного партнёрства в решении проблемы образования космического мусора

Существующие государственные и межгосударственные подходы к решению проблемы образования космического мусора, несмотря на их актуальность и важность, показали свою неэффективность в условиях стремительного роста числа объектов космического мусора и недостаточной координации между странами. В связи с этим целесообразно рассмотреть альтернативный сценарий, такой как частно-государственное партнёрство, которое могло бы стать надёжным инструментом для решения данной проблемы. В качестве примера можно обратиться к неправительственной организации, объединяющей три основных «загрязнителя» околоземного космического пространства (США, Россия, Китай), «Three Country Trusted Broker». Эта организация могла бы выступать в качестве посредника между государствами, частными компаниями и научными учреждениями, координируя усилия по разработке технологий очистки орбит и предотвращения образования космического мусора. Подобный подход позволяет более гибко и оперативно реагировать на проблемы, возникающие в связи с увеличением космического мусора, а также обеспечить финансирование и технологическую поддержку.

Выступление подготовлено при поддержке АНО «КЭП».

РЕГИСТРАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС КАК ОСНОВА ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

Зарюгин Д.Д.

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы

Человеческое стремление к звездам на протяжении всего пути существования сталкивалось с множеством преград. Эти преграды носили различный характер. В данной работе рассматривается проблема космического мусора и путь ее предотвращения посредством регистрации космических объектов. Важность рассматриваемой тематики обусловлена разрушительными свойствами космического мусора. Данные свойства выражаются в том, что уровень технического оснащения космических объектов не приспособлен к противодействию столкновениям с объектами, квалифицируемыми как космическим мусором. Именно поэтому так важен поиск научно-технических и международно-правовых решений, идущих в неразрывной взаимосвязи, по предотвращению образования космического мусора. Когда речь идет о регистрационном процессе космических объектов в контексте проблемы космического мусора, подразумевается регистрация не только космических аппаратов, но и объектов космического мусора. Предлагаемый к регистрации космических объектов двусторонний подход, позволяет применить наиболее оптимальные методы предупреждения образования и утилизации космического мусора. Среди предлагаемых мер – введение обязательного координационного механизма на регистрационном уровне, для снижения риска столкновений и внедрение технологий утилизации спутников после завершения эксплуатации. Также выдвигается инициатива создания единого международного каталога объектов мусора для эффективного мониторинга и управления ситуацией в космосе, что потребует преодоления барьеров, связанных с двойным назначением используемых технологий.

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ НОРМ ОБ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЧАСТНЫХ СУБЪЕКТОВ В КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Петрунина А.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Главной особенностью современной космической деятельности является расширение субъектного состава за счет активного включения частного сектора. Несмотря на это, действующее международное космическое право не регулирует вопросы частной космонавтики, в том числе вопросы ответственности. Как следствие, это приводит к правовой неопределенности и потенциальным правовым рискам. Для решения этой проблемы соответствующие нормы разрабатываются в рамках национального законодательства, различия в которых усугубляют ситуацию. Одновременно с этим, институт ответственности является фундаментальной правовой категорией регулирования отношений в различных отраслях хозяйственной деятельности.

Таким образом, появляется потребность в разработке специализированных норм об ответственности частных субъектов в космической деятельности с учетом особенностей космической отрасли. В качестве первого шага предлагается доказать объективную необходимость существования такой правовой категории.

В соответствии с международным космическим правом выделяются два основания ответственности в космической отрасли: сам факт осуществления космической деятельности и материальная ответственность за ущерб. Данные положения напрямую применимы только к государствам и международным организациям.

В связи с этим, обратимся к национальному законодательству. В соответствии со ст. 29 Закона Российской Федерации от 20.08.1993 №5663-1, граждане, виновные в нарушении данного Закона и других законодательных актов, регулирующих космическую деятельность, несут ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации [1]. Таким образом, к частным космическим компаниям применяются общие положения гражданского, административного права и соответствующие нормы других отраслей.

По нашему мнению, такой подход не учитывает специфику космической деятельности, для которой характерны: высокая себестоимость продукции, долгий срок ее окупаемости, использование ресурса в виде космического пространства, а также специфические риски, связанные с производством и эксплуатацией космической техники.

Таким образом, первым фактором, указывающим на необходимость принятия специализированных норм, выступает специфика космической деятельности.

Далее, учитывая, что сегодня космическая отрасль по-прежнему нуждается в снижении себестоимости (в качестве одного из решений предлагается конвейерное производство) и внедрении инновационных подходов к решению научно-технических проблем, частные космические компании участвуют практически на всех этапах жизненного цикла космических проектов. Как следствие, требуются дополнительные ресурсы для выполнения, например, государственного задания или соглашения о государственно-частном партнерстве. Так, вторым фактором является создание благоприятных условий для привлечения и удержания частных компаний в отрасли.

Рассматривая отдельные правовые категории, отметим, что понимание некоторых из них неприменимо к космической отрасли вовсе. Например, обстоятельства непреодолимой силы (форс-мажор). На практике суды в России чаще относят к ним стихийные бедствия природного (наводнения, пожары, ураганы и т.д.) и техногенного характера (массовые заболевания, забастовки, военные действия и другое). Очевидно, что такое понимание судами не соответствует специфике космической деятельности.

Отдельные вопросы связаны с особенностями страхования, которое отличается от любой другой деятельности как по страховым случаям, так и по размерам страховых выплат.

Таким образом, учитывая специфику космической отрасли, специализированные нормы ответственности для частных компаний необходимы и представляют собой необходимый ответ на уникальные вызовы отрасли. Они обеспечат правовую определенность, защиту общественных интересов и устойчивое развитие космической деятельности, что невозможно достичь с помощью общих норм гражданского и коммерческого права.

Литература:

1. О космической деятельности [Электронный ресурс]: Закон Российской Федерации от 20.08.1999 №5663-1 (ред. от 13.06.2023).

URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_3219/
(дата обращения: 12.03.2025).

ОТРАЖЕНИЕ ЗАПУСКА СОВЕТСКИМ СОЮЗОМ ПЕРВОГО В МИРЕ ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ В АМЕРИКАНСКОЙ ПРЕССЕ

Семенова А.А.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
АНО Исследовательский центр "Космическая экономика и политика"*

Запуск первого в мире искусственного спутника Земли СССР всесторонне освещался в американских газетах как великое научное достижение: пресса публиковала карты с траекторией движения спутника, рассказы очевидцев о «блестящем шаре», информацию о загадочных сигналах, издаваемых космическим аппаратом.

Это было неожиданным для мирового сообщества событием, так как первыми о своих планах по запуску спутника заявили США. В ведущих газетах выходили аналитические заметки о возможных политических последствиях первенства Советского Союза в космосе для американского престижа и государственной безопасности. Активными критиками действующей администрации выступили видные члены Демократической партии, которые вменяли администрации Д. Эйзенхауэра недооценку советской экономической и военной мощи, низкое финансирование военной сферы, ослабление обороноспособности государства, «ракетное отставание» из-за чего безопасность и престиж США были поставлены под угрозу.

В прессе поднималось три основных вопроса. Во-первых, американских экспертов волновали реакция союзников по блоку на потерю США «технологического первенства» и симпатии освобождавшихся от колониальной зависимости государств. Во-вторых, отчетливо звучал вопрос о месте науки и техники в Соединенных Штатах. Так, советское первенство в космосе объясняли недостаточным финансированием сферы науки и образования, низкой заинтересованностью в получении квалификации по приоритетным теоретическим направлениям. В-третьих, показавшись над горизонтом американского континента, советский спутник поставил вопрос государственной безопасности, обозначив конец «стратегической неуязвимости» Соединенных Штатов. Согласно комментариям экспертов, опасение вызывал не сам космический аппарат, который не представлял военной угрозы для США, а запустившая его мощная ракета-носитель, которая являлась модификацией нового типа ракет, которым не обладали Соединенные Штаты – межконтинентальных баллистических ракет.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТРИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОЛОГИИ V-MODEL ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КУБСАТОВ В СРАВНЕНИИ С ДРУГИМИ МЕТОДОЛОГИЯМИ

Татарченко Е.А.

АНО Исследовательский центр "Космическая экономика и политика"

Введение.

Развитие малых космических аппаратов типа CubeSat за последние годы привело к появлению широкого спектра методологий проектирования и производства. Одним из популярных подходов является V-Model, характеризующийся акцентом на верификацию и валидацию на каждом этапе разработки [7]. Однако по мере развития отрасли возникла необходимость количественно оценивать, насколько эффективен V-Model по сравнению с другими моделями жизненного цикла, такими как Scrum, Waterfall и итеративные методологии [2]. Мой доклад будет посвящен анализу ключевых статистических метрик, используемых для сравнения эффективности V-Model в контексте производства кубсатов, а также сравнению полученных результатов с показателями других методологий.

Основные статистические метрики для оценки эффективности V-Model.

Метрики, лежащие в основе анализа эффективности любой методологии жизненного цикла, обычно включают продолжительность разработки, плотность дефектов, производительность, время цикла и экономическую эффективность [6]. В случае V-Model данные метрики приобретают особую значимость вследствие жесткого разделения этапов и последовательной структуры разработки [3].

Первая ключевая метрика — время разработки. Методология V-Model, как правило, требует более длительных сроков реализации продукта, поскольку каждая фаза завершается последовательной проверкой и утверждением, прежде чем перейти к следующей стадии [7]. Напротив, итеративные методологии и Scrum сокращают общее время разработки за счет более гибких циклов.

Вторая метрика — плотность дефектов, которая определяется количеством дефектов на тысячу строк кода (KLOC) либо другим аналогичным показателем [1]. Для V-Model характерны более низкие значения плотности дефектов вследствие систематических этапов тестирования и валидации, встроенных в саму структуру модели [2]. Исследования показывают, что по данному параметру V-Model превосходит, к примеру, некоторые инкрементные методологии, хотя разница может зависеть от конкретного проекта и уровня компетенции команды [3].

Третья метрика — производительность, выражающаяся отношением объема выполненной работы к ресурсам, затраченным на ее реализацию [4]. Поскольку V-Model основан на последовательном выполнении этапов и ведет к достаточно формализованному документообороту, общая производительность нередко оказывается ниже, чем в гибких методологиях [5]. Утяжеленная структура V-Model, с одной стороны, снижает риск ошибок и повышает согласованность, а с другой — увеличивает затраты времени на каждый промежуточный этап.

Четвертая метрика — время цикла, т. е. длительность одной итерации или фазы внутри проекта [6]. В классической форме V-Model не предполагает коротких итераций, в отличие от Scrum, где цикл может составлять две недели или меньше. Вследствие этого V-Model обычно демонстрирует более продолжительный цикл между отдельными релизами, что сокращает оперативность реакции на возникающие изменения [3].

Пятая метрика — экономическая эффективность, которая оценивается через затраты на единицу результата (например, стоимости разработки на одну функциональную точку) [2]. Практика показывает, что вследствие последовательного и формализованного характера V-Model затраты на весь проект могут быть выше по сравнению с методологиями, где гибкость и частые релизы позволяют быстрее выявлять и исправлять ошибки [6]. Таким образом, V-Model может оказаться менее экономичным в проектах со стремительно меняющимися требованиями [3].

Для количественной оценки эффективности V-Model относительно альтернативных методов применяются вышеуказанные метрики. Исследования показывают, что методология V-Model преимущественна по таким показателям, как сниженность дефектности и формализованность каждой стадии [7]. Однако итеративные подходы, включая Scrum, чаще оказываются более производительными и экономичными [1]. Сравнение по времени разработки выявляет, что V-Model может удлинять общее время выхода на рынок за счет строгой структуры работ [3]. В проектах, требующих быстрого результата и высокой адаптивности, Scrum-методологии нередко выигрывают по срокам.

По плотности дефектов V-Model показывает хорошие результаты благодаря валидации на каждом этапе [2]. Scrum при этом может страдать от более высокой начальной дефектности, которая, впрочем, компенсируется быстрой обратной связью и непрерывным тестированием [4].

Производительность, согласно ряду исследований, выше у гибких методов, так как команды, работающие по Scrum, используют короткие итерации и итерационное планирование, что повышает общую скорость [1]. При этом строгая последовательность V-Model и контроль над документацией способствуют лучшему качеству финального продукта, но снижают общий темп.

Время цикла типично меньше в гибких методологиях. V-Model не рассчитан на частые релизы, из-за чего команда оказывается менее гибкой в реакциях на неожиданные изменения требований [7]. Для проектов, связанных с инновационными задачами или срочным выводом на рынок, Scrum или итеративные методы оказываются более эффективными.

Экономическая эффективность V-Model в проектах со стабильными требованиями и требованиями к повышенной надежности зачастую остается приемлемой, несмотря на видимую дороговизну, так как снижает дорогостоящие ошибки на поздних стадиях [2]. Если же требования нестабильны, высокие начальные издержки на планирование и документацию в V-Model могут оказаться неоправданными [3].

Применение V-Model в производстве кубсатов.

При создании малых космических аппаратов ключевое значение имеют безопасность, надежность и соответствие жестким стандартам [7]. Поскольку кубсаты часто разрабатываются в научных или университетских учреждениях, издержки и сроки там также критичны. Потребность в тщательной проверке систем, которые будут работать в космосе, делает методологию V-Model привлекательной с точки зрения низкого уровня дефектов [1]. Однако растущий спрос на быстрое обновление полезной нагрузки, а также работа с небольшой командой разработчиков могут побуждать переходить к более гибким методам [6]. В отдельных случаях выделяют «гибридные» подходы, где основная структура управления проектом схожа с V-Model, но используются короткие итерации для отдельных подсистем [7].

Вывод.

V-Model обеспечивает высокое качество конечного продукта и низкую плотность дефектов за счет многоэтапной валидации, что делает его привлекательным для областей с жесткими требованиями, включая производство кубсатов [2]. Однако данный подход зачастую приводит к увеличению общего времени разработки, снижению производительности и более высоким затратам [3]. В условиях, когда требования подвержены динамическим изменениям, итеративные и Scrum-методологии показывают лучшую приспособляемость, меньшие сроки и сниженные издержки [1]. Выбор конкретной методологии определяется балансом между строгим контролем качества, свойственным V-Model, и гибкостью при внесении изменений, характерной для альтернативных подходов. Для проектов по созданию кубсатов, где надежность и соответствие стандартам крайне важны, V-Model остается актуальным, но внедрение элементов итеративного или Scrum-подхода помогает улучшить временные и финансовые показатели разработки [7].

Литература:

1. Akinsola J. E. T. и др. Comparative Analysis of Software Development Life Cycle Models (SDLC). : Springer, Cham, 2020. С. 310–322.
2. Balaji S., Murugaiyan M. S. Waterfallvs V-model Vs Agile: A Comparative Study On SDLC // 2012.
3. Cardwell F. D., Papers C., Flores J. The performance of agile methods comparison to traditional development methods // 2014.
4. Deuter A. Slicing the V-Model – Reduced Effort, Higher Flexibility // International Conference on Global Software Engineering. 2013. С. 1–10.
5. Deuter A., Engels G. Measuring the Software Size of Sliced V-Model Projects // Joint Conference of International Workshop on Software Measurement and International Conference on Software Process and Product Measurement. 2014. С. 233–242.
6. George L. Zhivete Model - A Hybrid of V Model and Agile Scrum for Product Development // Indian Scientific Journal Of Research In Engineering And Management. 2023.
7. Nicolaescu S. S. и др. A new project management approach for R&D software projects in the automotive industry - continuous V-model // International Journal of Web Engineering and Technology. 2017. Т. 12. № 2. С. 120–142.

ПРОГРАММА TRACSS КАК ИНСТРУМЕНТ СОХРАНЕНИЯ ВЛИЯНИЯ США В КОСМОСЕ

Шишов Д.С.

*Факультет мировой политики МГУ имени М.В. Ломоносова
АНО "КЭП"*

В течение своего первого президентского срока Д. Трамп провел несколько реформ в космической сфере. Особого рассмотрения заслуживает принятая в 2018 году Директива по космической политике-3 (SPD-3), первая национальная политика в области управления космическим движением (УКД).

Поскольку непосредственно управление космическим движением трудно осуществимо на международном уровне, США пошли по пути объединения усилий национальных ведомств для создания системы координации космического движения, в практическом смысле это будет выражаться в передаче части полномочий по распоряжению информацией о космических объектах от Министерства обороны Министерству торговли. С этой целью создается TraCSS (Traffic Coordination System for Space) - современная облачная IT-система, которая будет предоставлять данные о космической ситуационной осведомленности (SSA) и услуги по координации космического движения (STC) космическим операторам для обеспечения безопасности космических полетов, устойчивости космического пространства и международной согласованности.

Существует мнение, что создание подобной системы и ее распространение на союзников США — не что иное, как попытка продвигать собственные политические интересы и устанавливать стандарты УКД для большей части мира (учитывая принадлежность спутников на орбите). Тем не менее, для союзников США такая перспектива вряд ли является неожиданной.

Европейский подход схож с американским в части выработки норм мягкого права (стандарты, лучшие практики и т. д.) для УКД. В резолюции Европарламента от 6 октября 2022 года «An EU approach for Space Traffic management - an EU contribution addressing a global challenge» четко обозначен призыв Еврокомиссии к рассмотрению как гражданских, так и оборонных потребностей и проведению консультаций с заинтересованными сторонами за пределами ЕС. Очевидно, что по уровню космических технологий и текущим политическим отношениям под такую формулировку подходят только США.

В октябре 2024 года 75-й Международный астронавтический конгресс выпустил исследование, в котором сравниваются европейская система наблюдения и слежения за космическими объектами (European Union Space Surveillance and Tracking) и TraCSS. Из этого документа следует, что программы очень схожи за исключением некоторых нюансов. Это дает основание полагать, что в будущем такие системы могут быть унифицированы или даже слиты воедино.

На данном этапе представляется, что в ближайшие годы США займутся упорядочением форматов взаимодействия своих ключевых органов, связанных с космической деятельностью, и в среднесрочной перспективе предпримут попытки вовлечь европейских союзников в свою систему координации космического движения, навязав определенные требования для осуществления космической деятельности.

Доклад подготовлен при поддержке директора АНО «КЭП» В.Б. Уварова.

ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОЕ ПАРТНЕРСТВО В КОСМИЧЕСКОЙ СФЕРЕ: АНАЛИЗ ПРАВОВЫХ ЛАКУН И НОРМАТИВНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВЕ РФ

Христенюк Е.И.

*Университет имени О.Е. Кутафина (МГЮА)
АНО «КЭП»*

Современное развитие космической отрасли все чаще опирается на механизмы государственно-частного партнерства, что позволяет объединять ресурсы и экспертизу государства и частного сектора. Однако, несмотря на законодательные изменения, направленные на расширение применения ГЧП в космической сфере, сохраняются значительные правовые пробелы и неопределенности.

Реализация законодательных инициатив и тенденции развития. Интеграция частного капитала в космическую деятельность посредством механизмов ГЧП становится актуальной. Принятые в 2024 году поправки в законы о ГЧП и концессиях предоставляет новые возможности для сотрудничества государства и бизнеса в такой высокотехнологичной сфере, как космос. Однако успешная реализация таких проектов требует тщательной проработки нормативной базы, устранения существующих правовых пробелов и обеспечения правовой определенности для всех участников.

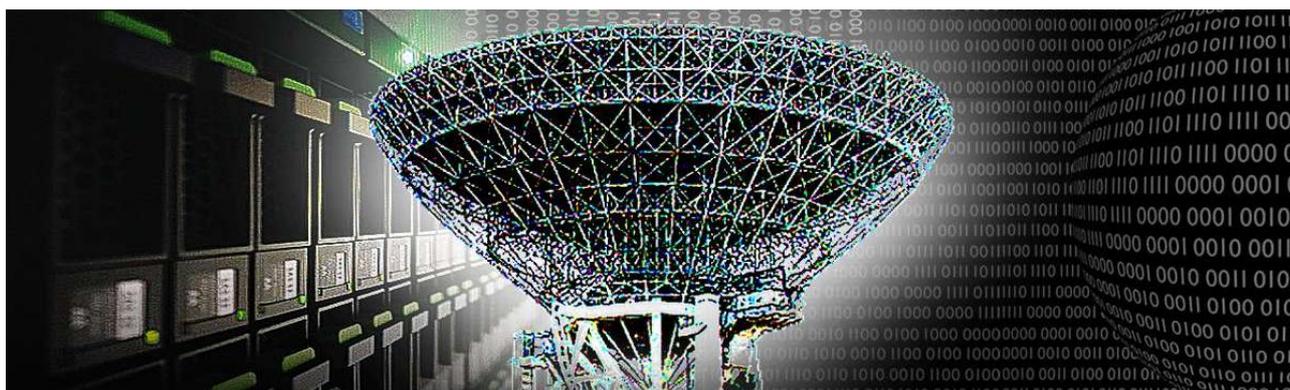
Пробелы правового регулирования. Отсутствие четкого определения правового статуса космических объектов в Гражданском кодексе РФ создает неопределенность в вопросах собственности, оборота и налогообложения таких объектов. Кроме того, недостаточно проработаны механизмы признания данных дистанционного зондирования Земли в качестве доказательств в судебных и контрольно-надзорных процедурах. Эти и другие пробелы снижают инвестиционную привлекательность космических проектов и препятствуют эффективной реализации ГЧП в данной сфере. В экономическом рассмотрении наблюдается недостаточность финансовых инструментов, стимулов и гарантий для поддержки проектов ГЧП в космической сфере, что ограничивает привлечение частного капитала в эту отрасль.

Сравнительный анализ правового регулирования разных стран и толкование норм международного права. Сравнение законодательства ведущих космических держав (США, ЕС, Россия, Китай) позволяет выявить основные подходы к регулированию ГЧП. Например, США развивают модель активного взаимодействия с частными компаниями, тогда как в России правовая база пока остается на стадии формирования. Отдельные направления можно наблюдать в рамках БРИКС+ на национальном уровне стран-участниц.

Пути совершенствования правового регулирования ГЧП в космосе. Для эффективного развития государственно-частного партнерства в космической сфере необходимо комплексное совершенствование нормативно-правовой базы. Это включает адаптацию механизмов ГЧП к специфике космической отрасли, устранение правовых неопределенностей, гармонизацию с международными нормами, разработку финансовых стимулов и обеспечение прозрачности процедур. Только при условии системного подхода к решению указанных проблем возможно создание благоприятной среды для привлечения частных инвестиций и обеспечения устойчивого развития российской космической отрасли.

Заключение. ГЧП в космической сфере остается перспективным направлением, требующим правовой доработки. Анализ существующих проблем и предложенные решения могут способствовать формированию более эффективной нормативной базы.

ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ГАЛО-ОРБИТ С ЗАДАНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ В ОГРАНИЧЕННОЙ ЗАДАЧЕ ТРЁХ ТЕЛ

Будникова П.А.

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

Гало-орбиты вокруг коллинеарных точек либрации в ограниченной задаче трёх тел (Restricted Three-Body Problem, RTBP) представляют значительный интерес для размещения астрофизических и космических миссий, выполняющих, например, мониторинг солнечной активности, астрономические наблюдения и обеспечение связи с дальними космическими аппаратами.

Однако точное построение гало-орбиты затруднено тем, что начальное решение в окрестности либрационных точек неустойчиво, а сами гало-орбиты не имеют элементарных замкнутых формул. В классической постановке задачи используется начальное приближение — например, решение Ричардсона третьего порядка. Такое аналитическое приближение при интегрировании в полной нелинейной модели RTBP не является строго периодическим. Поэтому полученные начальные условия обычно уточняют методом численной дифференциальной коррекции (Differential Correction, DC). При интегрировании уравнений движения проверяется периодичность орбиты, контролируются условия пересечения плоскости $x-z$ и равенство нулю соответствующих компонент скорости. Итерационным путём удаётся скорректировать начальные параметры так, чтобы траектория замкнулась и вышла на требуемую гало-орбиту. Главное ограничение классической схемы — необходимость хорошего начального приближения.

В последние годы для построения гало-орбит всё шире используется метод дифференциальной эволюции (Differential Evolution, DE). Он позволяет: 1) Искать начальные условия орбиты без аналитического приближения; 2) Сразу закладывать в целевую функцию желаемую амплитуду или иные требования к периодичности орбиты; 3) Устойчиво сходиться к решению даже при грубых изначальных границах для параметров.

В данной работе проведён сравнительный анализ двух описанных выше подходов к проектированию гало-орбит: традиционного метода, включающего аналитическое приближение и процедуру дифференциальной коррекции (DC), и альтернативного метода, основанного на применении эволюционного алгоритма дифференциальной эволюции (DE).

Показано, что классический метод дифференциальной коррекции при наличии хорошего начального приближения позволяет быстро находить периодические гало-орбиты, однако требует дополнительной стадии уточнения для получения орбит с точно заданной амплитудой по оси Z . Кроме того, эффективность метода снижается при увеличении размеров орбиты, особенно при работе с семействами крупных гало-орбит. С другой стороны, метод дифференциальной эволюции демонстрирует высокую устойчивость при работе с широким диапазоном параметров и не требует начального приближения. Он позволяет сразу получить орбиту с требуемыми характеристиками в рамках единой процедуры оптимизации. Однако такой подход требует значительно большего времени на вычисления по сравнению с традиционной дифференциальной коррекцией.

Проведённый анализ показывает, что использование метода дифференциальной эволюции целесообразно при проектировании орбит с заданными параметрами для новых космических миссий, особенно при отсутствии точного начального приближения или при работе с крупными орбитами. В то же время метод дифференциальной коррекции остаётся эффективным инструментом для уточнения орбит вблизи известных семейств или при необходимости оперативных расчётов.

ОБОБЩЕНИЕ ХОЛЛОВСКОЙ МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ НА СЛУЧАЙ ТЕПЛОПРОВОДНОЙ И ВЯЗКОЙ ЧАСТИЧНО ИОНИЗОВАННОЙ ПЛАЗМЫ

Галстян Т.В., Петросян А.С.

*Институт космических исследований РАН
НИУ Московский физико-технический институт*

Работа посвящена исследованию явления конвекции во вращающейся частично ионизованной плазме. Конвекция является определяющим механизмом крупномасштабных течений в космических и астрофизических объектах, таких как Солнце, звезды и экзопланетные атмосферы. Считаем, что частично ионизованная плазма состоит из электронной, ионной и нейтральной компонент, где последняя является доминирующей, а процессы рекомбинации и ионизации пренебрегаются. Крупномасштабная динамика частично ионизованной плазмы описывается системой уравнений многожидкостной магнитной гидродинамики, однако такая система является достаточно сложной как для теоретического анализа, так и для численного моделирования. Подход холловской магнитной гидродинамики позволяет упростить систему уравнений многожидкостной магнитной гидродинамики и привести ее к одножидкостному виду [1]. В работе обобщены идеи холловской магнитной гидродинамики на случай вязких и теплопроводящих течений частично ионизованной плазмы. Предложена качественная физическая картина эффектов вязкости и теплопроводности в многокомпонентной и получена система диссипативных уравнений холловской магнитной гидродинамики для вращающейся частично ионизованной плазмы. В полученных уравнениях нейтральная компонента считается термостатом, определяющим температуру частично ионизованной плазмы. Используя приближение Буссинеска, сформулированы уравнения описывающие конвекцию в частично ионизованной плазме и введены параметры подобия в рамках холловской магнитной гидродинамики. Для бесконечного слоя частично ионизованной плазмы со свободными границами сформулирована задача Бенара и найдена граница устойчивости, определяющая переход от области устойчивости к области неустойчивости в пространстве волновых векторов.

Литература:

1. Галстян Т.В., Кошкина Д.А., Климачков Д.А., Петросян А.С. Теория крупномасштабных течений вращающейся частично ионизованной космической и астрофизической плазмы в приближении холловской магнитной гидродинамики // ФИЗИКА ПЛАЗМЫ. 2024. Т.50. № 9. С. 1124-1140.

ФОРМИРОВАНИЕ ВОЛН СЖАТИЯ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕАДИАБАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Дертеев С.Б., Горяева В.Н.

Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова

Для изучения наблюдаемых в солнечной короне волн сжатия предложен подход, основанный на теории неадиабатических акустических волн, поведение которых определяется свойствами теплопроводности, постоянного удельного нагрева и радиационного охлаждения корональной плазмы. Показано, что минимум групповой скорости делит акустические волны на две группы с короткими и длинными периодами, имеющих разные свойства дисперсии и затухания. Такие периоды наблюдаются спектрах волн сжатия, имеют характерные значения 20-30 мин, которые обычно несколько раз меняются в течение 2-3 часов. Это ставит под сомнение общепринятую интерпретацию явления, называемого волнами сжатия. Мы показали, что появление короткого и длинного периода в акустическом возмущении можно объяснить, рассматривая суперпозицию акустических волн с упомянутыми свойствами в виде локализованного импульса. Наблюдаемые волны сжатия можно представить в виде последовательности отдельных акустических возмущений, генерируемых в основании короны. Они несут информацию о мелкомасштабных нестационарных процессах в нижней атмосфере и могут быть использованы для ее изучения. Работа выполнена при поддержке госзадания Минобрнауки РФ "Разработка методов исследований солнечного ветра и прогноза космической погоды на основе данных национальных средств наблюдения"(FZSN-2025-0002).

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ МГД-ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА β -ПЛОСКОСТИ: ГРАНИЦЫ РЕЖИМОВ В ПРОСТРАНСТВЕ ВОЛНОВЫХ ВЕКТОРОВ

Дроздов К.А., Петросян А.С.

*НИУ Московский физико-технический институт
Институт космических исследований РАН*

Исследование направлено на изучение взаимодействия вращательной турбулентности, волн Россби и Альвеновских волн в рамках β -плоскости с внешним магнитным полем. Актуальность связана с геофизическими и астрофизическими приложениями (динамика атмосфер, солнечный ветер). Модель позволяет анализировать переходы между режимами, определяемыми балансом нелинейных и волновых процессов.

В численных симуляциях решались уравнения двумерной магнитной гидродинамики (МГД) в приближении бета-плоскости. Эти уравнения описывают динамику функции тока ψ (и завихренности $\nabla^2\psi$) и магнитного потенциала A несжимаемой жидкости.

Анализ распределения функции тока и магнитного потенциала показал эволюцию структур потока, включая возможное формирование зональных струй. Присутствие магнитного поля может подавлять формирование зональных течений, обычно наблюдаемых в чисто гидродинамической турбулентности. Наблюдалась пространственная взаимосвязь между потоком и магнитным полем, что является ключевой особенностью МГД-турбулентности.

Рассчитаны кинетические и магнитные энергетические спектры для идентификации доминирующих режимов. Наблюдались признаки обратного каскада энергии, модифицированного бета-эффектом. Изменения наклона спектра вблизи шкалы Рейнса ($k_R \sim (\beta/U)^{1/2}$) указывали на переход к волнам Россби. Магнитная шкала Рейнса ($k_{MR} \sim (\beta/b_0)^{1/2}$) может играть роль в разделении россби-подобной турбулентности на больших масштабах и альвеновской турбулентности на меньших. Вблизи волнового числа, соответствующего магнитной шкале Рейнса, наблюдались изменения в спектрах.

Так же в работе анализировалось распределение энергии в двумерном пространстве волновых векторов (k_x, k_y) для определения границ между турбулентностью, волнами Россби и волнами Альвена. Границы определялись на основе доминирующего типа энергии, анизотропии потока и масштабирования энергетических спектров, соотносясь с характерными масштабами Рейнса. Была создана схематическая диаграмма, иллюстрирующая эти границы.

ЦИКЛЫ КАССИНИ В ЭВОЛЮЦИИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ СПУТНИКОВ

Егорова Е.С.

НИУ Московский физико-технический институт

В докладе показано, что вековые эффекты в движении спутников TOPEX/POSEIDON и AJISAI, можно объяснить в рамках общей теории движения спутника относительно центра масс на эволюционирующей орбите, развитой В.В.Белецким. Если движение спутника относительно центра масс можно интерпретировать как быстрое вращение относительно главной оси инерции, то траектории, образуемые пересечениями оси вращения с единичной сферой в полуорбитальной системе координат, будут замкнутыми траекториями, охватывающими стационарные режимы.

ПОЛИТРОПНЫЕ ПУЗЫРИ ЗВЁЗДНОГО ВЕТРА И ИХ УДАРНЫЕ СТРУКТУРЫ В РАДИАЛЬНО СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ СРЕДАХ

Загоруля Д.С.^{1,2,3}, Шан С.⁴, Краснопольский Р.⁴

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН

³ Пуцунская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН

⁴ Институт астрономии и астрофизики Академия Синика

Мы обобщаем аналитические результаты для политропных пузырей звёздного ветра, первоначально сформулированные в работе Ку и МакКи [1, 2], и их ударных структур. Мы фокусируемся на случаях со сферической симметрией в межзвёздной среде с квадратично убывающей плотностью. Такие конфигурации возникают естественным образом в звёздообразующей среде и имеют приложения к звёздным ветрам, втекающим в уже существующий пузырь. Для области сжатого ветра написана точная система ОДУ, а приближенные решения найдены путем фитирования. Анализируя взаимодействие между звёздным ветром и окружающей средой в пределе сильного сжатия, мы моделируем образование и эволюцию сферических пузырей и выделяем их ударные фронты и контактные разрывы. Наш аналитический метод обеспечивает интуитивный подход к вычислению толщины пузырей, что крайне важно для понимания их динамики и наблюдательных характеристик. Мы исследуем численным методом условия без явного требования предела сильного сжатия, а затем сравниваем численные и аналитические результаты при различных условиях.

Литература:

1. Коо, В.-С., & McKee, С. F. 1992, ApJ, 388, 93
2. Коо, В.-С., & McKee, С. F. 1992, ApJ, 388, 103

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВОГО СИГНАЛА ОТ СЛИВАЮЩИХСЯ ЧЕРНЫХ ДЫР С ПОСТРОЕНИЕМ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИГНАЛА

Клопова-Сапоровская И.А.¹, Блинников С.И.²

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ

Глобальной целью является моделирование гравитационно-волнового сигнала от сливающихся нейтронных звёзд. В качестве первого шага по достижению этой цели, мы смоделировали сигнал от сливающихся чёрных дыр. Далее, для применения полученной модели к нейтронным звёздам, надо добавить в неё приливные эффекты, которые значительно влияют на форму сигнала от нейтронных звёзд.

Моделирование производилось в рамках постньютоновской аппроксимации, которая была предложена Эйнштейном для приближённого решения уравнений общей теории относительности для случая объектов со скоростью, сильно меньшей скорости света. Это накладывает ограничения на область применимости модели, потому что она перестаёт работать на поздних этапах слияния, но для наших задач эта модель применима. Постньютоновское приближение включает параметр x , равный квадрату скорости объекта, делённому на квадрат скорости света.

Это приближение применимо только до тех пор, пока постньютоновский параметр x остаётся сильно меньшим единицы. Приближение включает в себя дифференциальное уравнение, решение которого даёт эволюцию постньютоновского параметра во времени. Эта эволюция позволяет посчитать форму гравитационной волны. К несчастью, это дифференциальное уравнение может быть решено только численно, и нашей задачей было построение аналитического приближения для решения диф. уравнения. Построив его, мы решили уравнение двумя способами: аналитически и численно, а после сравнили оба решения. Мы получили, что наша аналитическая модель достаточно точно совпадает с численным решением вплоть до значений параметра $x=0.16$.

Таким образом, полученная нами аналитическая модель позволит ускорить процесс обработки данных с LIGO/VIRGO/KAGRA. В работе мы опирались на похожие исследования, которые сейчас проводится несколькими группами учёных, но их работы более сосредоточены на численном решении уравнения, в то время как мы делаем упор на важности аналитической модели и предлагаем свою собственную модель.

Весь проект был написан на языке компьютерной алгебры Maxima, похожие проекты других групп были выполнены на языке Wolfram Mathematica.

ЯРКОСТЬ ФОНА НЕБА КАВКАЗСКОЙ ГОРНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ГАИШ МГУ В ПОЛОСАХ BVRCIS

Комарова И.А.^{1,2,3}, Татарников А.М.¹

¹ *Физический факультет МГУ*

² *ГАИШ МГУ*

³ *Факультет космических исследований МГУ*

Астроклимат Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ (КГО ГАИШ МГУ) хорошо исследован [1], его оценка и различные измерения проводились с 2007 г. (соответствующие данные были опубликованы в 2016 г.). Одним из параметров астроклимата, определяющих предельную звездную величину, доступную для наблюдений в обсерватории, является яркость фона ночного неба. В нее входит заатмосферный фон, естественное свечение ночного неба (атмосферы Земли), инструментальный фон и световое загрязнение от ближайших объектов инфраструктуры. В настоящее время увеличение яркости фона ночного неба становится все более актуальной проблемой в связи с ускоряющимся урбанизационным процессом и развитием искусственного освещения в регионах, в том числе в горных районах.

Целью данной работы является исследование изменений яркости фона неба в КГО в оптическом и ближнем ИК диапазоне, определение вклада в общий фон инструментального и заатмосферного излучения и определение скорости увеличения засветки неба с использованием данных, полученных в КГО за последние несколько лет на 60-см телескопе RC600.

Зависимости яркости фона от воздушной массы для всех фотометрических полос имеют довольно широкий разброс данных от 2 до 3 звездных величин, однако большая часть точек концентрируется к прямой, растущей с увеличением воздушной массы.

Зависимость яркости фона неба от расстояния до Луны для воздушных масс от 1 до 1.5, высоты Солнца меньше -18° и фазой Луны от 0.9 до 1 исследованы в данной работе. В фотометрических полосах В и V яркость фона варьируется в пределах от 22 до 16 mag arcsec⁻¹. В полосе Rc величины изменяются от 20 до 15, а в Ic от 19 до 15 mag arcsec⁻¹, то есть влияние расстояния до Луны на фон сказывается меньше в данных фотометрических полосах. Полученные зависимости аппроксимированы экспоненциальной кривой.

Проведено сравнение зависимостей яркости фона неба от высоты Солнца для разных фотометрических полос при следующих условиях: воздушные массы > 1.5 , Луна под горизонтом (фаза Луны < 0.5). Яркость фона во всех фотометрических полосах выходит на плато на разных высотах: для полосы В значение составляет -16° , V – -15° , Rc – -14° , Ic – -13° . Значения яркости меняются на 6, 5, 5 и 4 величины в фильтрах В, V, Rc, Ic соответственно в зависимости от высоты Солнца. Меньше всего от высоты Солнца зависит фон в Ic – рост яркости с увеличением высоты более плавный, и диапазон изменения величин меньше по сравнению с другими полосами.

Для данных с 2019 по 2024 года установлены следующие медианные значения яркости фона для воздушных масс, приведенных к единице: в полосе В – 21.50, V – 20.73, Rc – 20.32, Ic – 19.31. Установлено, что в фотометрических полосах В и V значения выросли относительно данных 2011 года [1], что связано с увеличением засветки от различных объектов инфраструктуры; в Rc яркость фона не изменилась, а в Ic – уменьшилась (мы считаем, что это связано не с уменьшением засветки, а с отличием фотометрических полос RC600 и той, что использовалась в работе [1]).

За время фотометрических наблюдений в КГО поменялся не только уровень фона, но и его спектр. Если ранее в спектре преобладали теллурические линии и линии натрия и ртути от уличного освещения, то в настоящее время преобладающим источником засветки в видимой части спектра являются светодиодные лампы, дающие две широкие и яркие эмиссионные особенности, одна из которых по форме практически совпадает с кривой реакции полосы B , а вторая занимает область спектра от $\sim 5000\text{\AA}$ до $\sim 6200\text{\AA}$. На высоте над горизонтом 25 градусов эти эмиссии в несколько раз ярче в северном направлении (т.е. в направлении близких городов), чем в южном. Заметный вклад они дают и в зените. Подобные изменения фона, которые, вероятнее всего, будут только усиливаться, делают все более актуальным переход к наблюдениям, менее чувствительным к уровню светового загрязнения, — фотометрии и спектроскопии в ИК диапазоне и спектроскопии высокого разрешения в оптическом.

Таким образом, в синей и визуальной областях спектра яркость фона неба в КГО за последние 10 лет значительно выросла. Рост составил примерно 60% в синей части спектра и 45% в визуальной части. Такой рост требует принятия специальных мер на уровне федеральной власти, которые смогли бы защитить существующий астроклимат уникальных астрономических центров страны.

Литература:

1. V. Kornilov, M. Kornilov, O. Voziakova, N. Shatsky, B. Safonov, I. Gorbunov, S. Potanin, D. Cheryasov, V. Senik, Night-sky brightness and extinction at Mt Shatdzhatmaz, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 462, Issue 4, 11 November 2016, Pages 4464–4472

КВАЗИДВУМЕРНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ В ХОЛЛОВСКОЙ МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКЕ. ПЛАЗМЕННЫЕ ВОЛНЫ РОССБИ

Кошкина Д.А., Петросян А.С.

*Институт космических исследований РАН
НИУ Московский физико-технический институт*

В работе развивается квазидвумерная теория для полностью ионизованной плазмы в рамках холловской магнитной гидродинамики в приближении бета-плоскости. Для описания течений в сферических объектах используем приближение бета-плоскости. Приближение бета-плоскости позволяет перейти в локальную декартовую систему координат, в которой сила Кориолиса становится неоднородной и зависящей от широты. В таком приближении пренебрегается кривизна сферы. Предложенное квазидвумерное приближение для вращающейся плазмы в холловской магнитной гидродинамики течений означает изучение течений при условии квазигидростатического равновесия. В квазидвумерной теории мы пренебрегаем влиянием вертикальных сил, действующих на плазму.

Получен новый тип волн в полностью ионизованной плазме - плазменная волна Россби. Восстанавливающей силой плазменной волны Россби является неоднородная сила Кориолиса. В случае пренебрежения столкновениями в плазме полученная волна является незатухающей.

ЭВОЛЮЦИЯ ЛЕНГМЮРОВСКОГО СПЕКТРА В НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ: САМОСОГЛАСОВАННОЕ ОПИСАНИЕ

Лужковский А.А., Шкляр Д.Р.

Институт космических исследований РАН

Работа посвящена численному исследованию резонансного взаимодействия заряженных частиц с ленгмюровскими волнами в условиях неоднородной плазмы. В научной литературе для самосогласованного описания этого взаимодействия обычно рассматривают систему уравнений Власова-Пуассона, состоящую из уравнения Пуассона для скалярного потенциала электрического поля волны и кинетического уравнения Больцмана-Власова для функций распределения частиц в фазовом пространстве. Широко используются два различных подхода к решению данной системы уравнений. Метод частиц в ячейках основывается на вычислении траекторий отдельных частиц в самосогласованном электромагнитном поле. Этот подход требует относительно небольших вычислительных ресурсов и применим к многомерным задачам, но из-за ограниченного числа частиц приводит к росту численного шума. Для подавления тепловых численных флуктуаций часто применяется иной подход, в котором напрямую решается кинетическое уравнение Власова и определяется временная эволюция функций распределения частиц в фазовом пространстве. Предыдущие исследования, базирующиеся на этих подходах, были преимущественно сосредоточены на моделировании самосогласованной динамики ленгмюровских волн и частиц в однородной плазменной среде. Главной особенностью нашего рассмотрения является учет пространственной неоднородности плазмы, задаваемой в системе с помощью внешней потенциальной силы.

В работе проводится численный расчет самосогласованной системы уравнений, состоящей из кинетического уравнения Власова и закона Ампера-Максвелла. Предполагается, что существенно более плотная «холодная» компонента плазмы, определяющая дисперсионные свойства среды, не участвует в резонансном взаимодействии с волной. Линейный ток, соответствующий этой компоненте, объединяется с электрическим полем в электрическую индукцию с помощью локального тензора диэлектрической проницаемости. При таком подходе компьютерное моделирование, связанное с подавляющим большинством холодных электронов, не проводится, т.е. кинетическое уравнение решается только для резонансных частиц. Рост или затухание волн связано со второй «энергичной» компонентой, которая участвует в резонансных взаимодействиях с волнами. Кинетическое уравнение Власова решается с использованием схемы Рунге-Кутты 4-го порядка по времени. Численное интегрирование закона Ампера-Максвелла, определяющего временную эволюцию электрического поля волны, проводится с использованием схемы второго порядка точности по времени.

В рамках исследования рассматриваются два типа невозмущенных функций распределения для энергичных частиц: распределение Больцмана для анализа затухания Ландау и пучковое распределение для изучения механизмов возбуждения и эволюции ленгмюровского спектра. В нашем анализе мы исследуем случаи, включающие либо одну волну, либо широкий спектр волн в качестве начального возмущения электрического поля. Построены и изучены спектрограммы частота-время для различных областей пространства.

ВЛИЯНИЕ ЗЕРКАЛЬНОЙ АСИММЕТРИИ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА НА СКОРОСТЬ ТРАНСФОРМАЦИИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В МАГНИТНУЮ

Макарова И.В., Юшков Е.В.

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

Процесс трансформации кинетической энергии в магнитную в турбулентном плазменном потоке описывается теорией магнитного динамо. При достаточной энергии кинетических флуктуаций и хорошей проводимости генерируемая магнитная энергия концентрируется в мелкомасштабных структурах - токовых слоях и жгутах, и именно поэтому такой тип динамо называется мелкомасштабным [1]. Отличительной чертой такого типа генерации является сохранение среднего магнитного поля, однако если к свойствам потока добавить еще и условие зеркальной асимметрии, характеризуемой спиральностью течения, то одновременно с магнитной энергией может начать расти и среднее поле. Рост среднего магнитного поля - это маркер работы другого механизма динамо, так называемого, альфа-квадрат динамо [2]. Таким образом, в зеркально асимметричном турбулентном потоке может существовать два взаимно конкурирующих процесса трансформации энергии: мелкомасштабное динамо и альфа-квадрат динамо, с различными скоростями и масштабами генерации.

В рамках доклада будут представлены результаты численного исследования конкуренции этих процессов в рамках единой модели Вайнштайна-Кичатинова [3]. Эта модель, описывающая эволюцию второго момента магнитного поля, основана на идее Казанцева о коротко коррелированном поле скорости и получается путем усреднения уравнения магнитной индукции по такому полю скорости. Так как модель единая, то отделить два типа генерации друг от друга непросто, однако на основании известных нам зависимостей скоростей и масштабов генерации от магнитного числа Рейнольдса и гидродинамической спиральности, нами сделана попытка дистанцировать механизмы генерации и найти порог меры зеркальной асимметрии, при котором одна генерация трансформируется в другую.

Литература:

1. Kazantsev, A.P. "Enhancement of a magnetic field by a conducting fluid." *Sov. Phys. JETP* 26.5 (1968): 1031-1034.
2. Yushkov, E.V. " α^2 -Dynamo in a spatially homogeneous medium." *Magnetohydrodynamics* (0024-998X) 50.4 (2014).
3. "turbulent medium and the generalized Kolmogorov-Fokker-Planck equations." *Journal of Fluid Mechanics* 168 (1986): 73-87.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ЩИТОВ УИШЛА МЕТОДОМ СГЛАЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

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

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Институт проблем машиноведения РАН

Проектирование щитов Уишпла [1] – актуальная задача для защиты космических аппаратов от микрометеороидов как природного, так и техногенного происхождения. В основном, это - проектирование защитных систем от частиц, летящих со скоростью 4 - 9 км/с. В то же время космические миссии будущего требуют проектирования защитных систем от микрометеороидов, которые движутся со скоростями до 70 км/с.

Проектирование и моделирование таких систем удобно проводить бессеточным лагранжевым методом сглаженных частиц [2] – SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics). Степень влияния отдельно взятой частицы на свойства системы в целом обеспечивается функцией влияния – функцией ядра, которая включена в систему уравнений механики сплошной среды. Как вариант, в методе SPH, среди прочих, для функции ядра используют кубический сплайн. Функция ядра принимается равной нулю для частиц, которые находятся дальше, чем две длины сглаживания, что весьма экономит вычислительные ресурсы, когда малое влияние отдаленных частиц не принимается во внимание при расчете.

С использованием метода сглаженных частиц удалось построить модель высокоскоростного удара алюминиевой сферы в тонкий алюминиевый экран – первый экран щита Уишпла. Точность построенной модели довольно высока, т.к. модель учитывает разницу в скоростях частиц отдельных осколков, которые образуют облако осколков после попадания сферы в первый экран щита. С учетом этой разницы в скоростях частиц, например, наблюдается некоторый авангард облака - лидирующий прилив в облаке, который движется впереди остальных частиц. В построенной модели принималась модель материала для алюминия в форме Джонсона-Кука (и для ударника, и для преграды), а уравнение состояния для ударника – в форме Ми-Грюнайзена, для преграды - в форме линейного полинома.

Методом SPH можно вести расчеты как двухслойных щитов (два экрана), так и многослойных. С применением указанного выше метода было показано, если космическую частицу встречает серия экранов, каждый из которых толщиной 0.25 мм, то скорость осколков падает ступенчато – после прохождения каждого экрана, и примерно на одну и ту же величину. Это обстоятельство было отражено на скоростной диаграмме.

Разворачивая на 90 градусов уже построенные экраны (толщиной 0.25 мм), а также пересекая их идентичными, несложно получить ячеистую структуру из алюминия, которая оказалась еще более эффективнее, чем многослойные щиты.

Собирая при проектировании цилиндры-иглы, которые состоят по диаметру из одной частицы, можно получать массивы игл. Такие массивы показали хорошую степень защиты от микрочастиц, которые приближаются к экрану с очень большими скоростями - это 20 км/с и более.

Таким образом, метод SPH показал высокую эффективность при разработке сложных многослойных конструкций щитов Уишпла, при введении в эти щиты ячеистых алюминиевых структур, алюминиевых игл и т.д. Метод продемонстрировал экономию вычислительных ресурсов. Ряд конструкций многослойных щитов Уишпла, по предварительной

оценке, оказались весьма эффективными. Было показано, что игольчатые структуры эффективны в том случае, если иглы опираются на специальную пластину-подложку.

Литература:

1. Anand Pai et al. Performance analysis of fluid-core Whipple shields under hypervelocity impact at different projectile speeds. Defence Technology. Available online 7 January 2025, in Press, Corrected Proof. DOI: 10.1016/j.dt.2024.12.023
2. Gui-Rong Liu, M. B. Liu. Smoothed Particle Hydrodynamics: A Meshfree Particle Method. World Scientific, 2003, p.449

ИЗМЕНЕНИЕ ОРБИТЫ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНОГО АСТЕРОИДА 2024 YR4 С ПОМОЩЬЮ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕГО В ОКРЕСТНОСТИ ТОЧКИ ЛИБРАЦИИ

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*

Астероид 2024 YR4 был открыт в конце декабря 2024 года и сразу же попал в список самых опасных по уровню угроз. Его диаметр составляет порядка 55 метров, а максимальная вероятность столкновения с Землей в 2032 году спустя десятки дней после обнаружения оценивалась величиной в несколько процентов. В случае столкновения такого астероида с Землей неизбежна катастрофа регионального масштаба. Поэтому возникает задача по предотвращению потенциального столкновения, например, за счет отклонения этого небесного тела от траектории попадания в Землю.

Для решения такой задачи можно использовать уже имеющиеся носители и космические аппараты (КА). Данное утверждение имеет обоснование в виде эксперимента по ударному воздействию на небесное тело – DART (Double Asteroid Redirection Test, NASA, 2022 г.), в ходе которого один из пары астероидов Дидим-Диморф был успешно отклонен от изначальной траектории.

В данной работе рассмотрены возможные варианты перенаправления действующих в окрестности коллинеарных солнечно-земных точек либрации космических аппаратов на траектории сближения с астероидом 2024 YR4 с целью удара для последующего изменения его орбиты. Показано, что встреча различных КА, таких как Euclid, James Webb Space Telescope, Спектр-Рентген-Гамма, с данным астероидом может осуществиться в 2028 году при его очередном тесном сближении с Землей. Подтверждено, что во всех рассчитанных случаях относительной скорости движения КА, а также его массы, хватает для того, чтобы отклонить конечный участок траектории движения астероида в 2032 году на 50000 км и, таким образом, предотвратить его столкновение с Землей.

OREKIT: ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ЭФЕМЕРИДЫ ПРИ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЕ ОБЪЕКТА КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

Санникова Т.Н.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

Исследовано влияние коэффициента, характеризующего отражающие свойства объекта, на точность эфемериды, вычисленной 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. Использован метод численного интегрирования с возмущающими факторами: гравитационное поле Земли с учетом гармоник геопотенциала до 20-го порядка и степени включительно, притяжение Солнца, Луны и Юпитера, сопротивление атмосферы, световое давление с использованием конусной модели светового давления с тенью и полутенью. Предположено, что тело имеет сферическую форму, то есть отношение площади к массе постоянно, но варьируется значение коэффициента диффузного отражения.

Рассмотрены реальные объекты космического мусора с отношением площади к массе более 1 кв.м/кг. Проведена оценка точности полученных эфемерид путем сравнения вычисленных и наблюдаемых положений. Использованы наблюдательные данные для объектов космического мусора в геостационарной области, полученные в течение 2022 и 2023 годов 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.

РОСТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ГРАНИЦЕ КОНВЕКТИВНЫХ ЯЧЕЕК С УЧЁТОМ ОБРАТНОГО ВЛИЯНИЯ НА СКОРОСТЬ ТЕЧЕНИЯ

Хвоцинская В.Д., Михайлов Е.А., Кузнецов Е.А.

*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
ФИАИИ имени Лебедева*

Экспоненциальный рост вмороженных полей (таких, как магнитное поле [1], завихренность [2] и т.д.) представляет большой интерес с точки зрения теоретической физики и астрофизики. Так, ранее было показано, что на границе конвективных ячеек в различных астрофизических объектах может происходить усиление магнитного поля за счёт "сгребания" его линий потоками среды [1, 3]. Тем не менее, до сих пор изучалась кинематическая задача, в которой отсутствовало обратное влияние магнитного поля на течение.

В данной работе рассматривается возникновение особенностей магнитных полей при наличии встречных потоков в рамках. Данная модель должна принципиально описывать конвективные движения вдоль поверхности Солнца и других звезд и эволюцию нормальной компоненты поля. В таком случае уравнение для основной компоненты скорости выглядит так:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = -B \frac{\partial B}{\partial x} + \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2},$$

а для эволюции составляющей магнитного поля, перпендикулярной к течению, имеем следующее соотношение:

$$\frac{\partial B}{\partial t} + v \frac{\partial B}{\partial x} = -B \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{Rm} \frac{\partial^2 B}{\partial x^2}.$$

В случае бесконечно больших Re и Rm на границах конвективных ячеек наблюдается резкий рост градиента скорости потоков среды и величины магнитной индукции вмороженного магнитного поля. В таком случае можно говорить о коллапсе, когда за конечное время основные характеристики решения (магнитное поле и производная скорости) становятся бесконечными. Отдельно отметим, что данная система является консервативной, что следует из отсутствия вязкости, коэффициент которой пропорционален величине $1/Re$, и большой магнитной проводимости высокотемпературной плазмы. Можно видеть, что в таком случае скорость "выдавливается" из области, где генерируются большие магнитные поля.

Поскольку на практике гидродинамическое и магнитное числа Рейнольдса, разумеется во много раз превышают единицу, но всё же не являются бесконечно большими, нами была рассмотрена задача с конечными числами Рейнольдса. В таком случае опрокидывания решения и коллапса не происходит, но магнитное поле и производная скорости достигают достаточно больших величин.

Литература:

1. Е.А. Кузнецов, Е.А. Михайлов, Заметки о коллапсе в магнитной гидродинамике, ЖЭТФ, 2020, том 158, вып. 3 (9), стр. 561–572
2. Е.А. Kusnetsov, Е.А. Mikhailov, Slipping flows and their breaking, Annals of physics 447 (2022) 169088
3. Е.А. Kuznetsov, Е.А. Mikhailov, Magnetic Filaments: Formation, Stability, and Feedback, Mathematics 2024, 12, 677.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРОСОВЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ДИНАМИКИ НЕРАСТЯЖИМОЙ НИТИ

Храмов Д.А.^{1,2}, Малашин А.А.^{1,3}, Дьяков П.А.¹

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

² *НИИ Механики МГУ*

³ *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(Мытищинский филиал)*

Тросовые системы являются перспективным средством для решения различных задач в условиях космоса : перемещение полезной нагрузки без топливных затрат, стабилизация космических аппаратов, выполнение орбитальных маневров. Экспериментальные исследования проводились во время полётов TSS1 и TSS1-R, YES1 и YES2 и др. В результате анализа процессов размотки троса и верификации математических моделей стало понятно, что такие процессы чувствительны к начальным параметрам запуска и эффектам, связанным с распространением волн возмущения в нити и их отражением от границ. В связи с чем остаётся актуальной потребность в моделирование движения нити в подобных процессах для последующего использования в космических миссиях.

В докладе представлен способ моделирования движения нити для космических миссий. Математическая модель основана на динамике идеальной однородной нерастяжимой нити в переменном поле тяжести. Численное решение основано на методе характеристик. Проводились эксперименты по сматыванию нити с грузом на конце. С помощью полученных экспериментальных траекторий движения центра масс груза в процессе сматывания проводилась валидация программы. В том случае, когда масса груза много больше массы нити получено совпадение расчётной и экспериментальной траектории. В дальнейшем такой вариант моделирования тросовых систем применим для, например, спуска полезной массы с космической станции к поверхности луны.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 24-71-00010.

О ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СВЕРХКОРОТКОГО РАДИОИМПУЛЬСА ГИГАГЕРЦЕВОГО ДИАПАЗОНА, ДЕФОРМИРОВАННОГО ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ПО МЕЖПЛАНЕТНОЙ ТРАССЕ

Худышев Ю.С.

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

При распространении в межпланетной плазме электромагнитные импульсы претерпевают дисперсионные искажения, уровень и особенности которых определяются их начальными характеристиками и протяженностью трассы. Влияние среды может приводить к значительным различиям временного хода напряженности поля излучаемого импульса и напряженности поля, регистрируемой на приемном конце трассы.

Деформация радиоимпульсов с возрастанием интегральной электронной концентрации (ТЕС) трассы обусловлена изменением их фазового спектра под воздействием среды, проявляющимся в возникновении фазового набега частотных гармоник, формирующих импульс. При этом, в отличие от фазового спектра, из-за отсутствия поглощения в среде амплитудный спектр распространяющегося импульса не деформируется. В связи с этим представляет интерес восстановление исходной формы деформированного импульса при различных значениях ТЕС трассы по данным о его спектре и фазовом набега частотных гармоник.

В докладе приведены результаты анализа возможности восстановления исходной формы сверхкоротких радиоимпульсов с различными начальными характеристиками, распространяющихся по межпланетной трассе, по данным об их начальных фазовых спектрах и фазовом набега частотных гармоник на трассе. Показано, что предложенная методика позволяет достаточно достоверно восстанавливать исходную форму импульсов при значениях ТЕС, характерных для межпланетных расстояний. Рассмотрена возможность восстановления исходной формы импульсов при отсутствии информации о значениях ТЕС.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОЖНОГО ВАКУУМА КЭД В ЛАБОРАТОРНОМ ОПТИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Чебакова С.А., Филатов В.В., Кулагина М.А.,
Шумилкина Ю.Р., Волкова В.В.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

В квантовой теории поля ложный вакуум - это состояние вакуума, которое локально стабильно, но не занимает наиболее стабильное из возможных основных состояний. В настоящее время наиболее распространено мнение о том, что ключевым шагом к Большому взрыву стало превращение ложного вакуума, захваченного полем Хиггса в масштабе Планка, в истинный вакуум. По этой причине понимание явления ложного вакуума, его свойств и поведения важно для разгадки происхождения и будущего Вселенной.

В статье мы сообщаем о наблюдении подобного ложному вакууму поведения электромагнитного поля в особой точке зоны Бриллюэна фотонного кристалла: свет, направленный на кристалл, конденсируется в "незаземленный" конденсат Бозе-Эйнштейна с восстановленными P- и T-симметриями для поляритонного поля U(1). Не исчезнувшая диаграмма Фейнмана $\gamma\gamma \rightarrow a$ приводит к появлению "темных" аксионоподобных частиц (механизм, вероятно, имел место в ранней Вселенной), наблюдаемых как дополнительные пики вторичного излучения, а поляритон-фононное взаимодействие забирает энергию конденсата и приводит к его коллапсу через низкоэнергетические бозе-конденсированные состояния (как если бы "ложный" конденсат Бозе-Эйнштейна (БЭК) распадался на "истинный"). Это позволяет воспроизвести в оптике и исследовать в лабораторных условиях наиболее важную стадию Большого взрыва.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ИНТЕРПОЛЯЦИЯ МОДЕЛЬНЫХ СПЕКТРОВ АТМОСФЕР БАРСТЕРОВ

Черносос В.Д.

*НИУ Московский физико-технический институт
Институт космических исследований РАН*

Исследование рентгеновских нейтронных звезд в двойных системах, на которых происходят вспышки (барстеров), имеет большое значение для установления уравнения состояния сверхплотного вещества. Как отмечено в [1], измерение зависимости масса–радиус становится возможным через анализ параметров спектров атмосфер нейтронных звезд. Введение метода, предложенного в [1], позволяет определить параметры звезды по наблюдаемым спектральным характеристикам, однако при применении этого подхода к мягкому состоянию барстеров, которое соответствует плотному аккреционному диску вокруг нейтронной звезды, возникают существенные трудности. Они связаны с влиянием линий поглощения, особенностями комптоновского рассеяния и сложной геометрией распределения температуры на поверхности звезды, что затрудняет точное моделирование спектра.

В нашей работе реализован подход, основанный на ранее предложенных методах ([1], [2]). Основная идея заключается в учёте неоднородности поверхности нейтронной звезды, возникающей из-за быстрого вращения и поправок общей теории относительности (ОТО). Для каждой точки поверхности, где рассчитывается локальный спектр согласно модели [1], выполняется численное интегрирование с использованием приближения делютированного черного тела. При этом коэффициенты спектра делютированного черного тела оптимизируются с помощью квадратичной интерполяции по двум параметрам: относительной светимости (в единицах эддингтоновской светимости) и логарифму ускорения свободного падения, так как эти параметры определяют основные характеристики атмосферы, влияющие на формирование спектра.

Практическая реализация метода начинается с исходных данных о коэффициентах спектра, рассчитанных для 23 значений относительной светимости и 9 значений логарифма ускорения свободного падения (модель [1]). Зная базовые параметры нейтронной звезды (масса, радиус, химический состав, частота вращения), производится вычисление поправок ОТО, что позволяет задать локальные значения светимости и ускорения свободного падения по всей поверхности звезды. Далее применяется интерполяция коэффициентов спектра в каждой точке, после чего итоговый наблюдаемый спектр атмосферы получается интегрированием по всей поверхности. В заключительной стадии вычислений извлекаются коэффициенты интерполяции для делютированного черного тела итогового спектра.

Одной из основных проблем вышеописанного метода является невозможность точного воспроизведения всех спектральных особенностей, так как вычисления ведутся с использованием приближения делютированного черного тела. В частности, в этом приближении теряются детали спектральных линий поглощения, изменяется форма спектра, а также недостаточно точно воспроизводятся характеристики комптоновского рассеяния. Например, для солнечной металличности модельные спектры по [1] демонстрируют характерный «провал», связанный с наличием железа, которого не наблюдают в реальных данных, несмотря на высокую металличность, что также подчёркивается в [2]. Это ограничение указывает на необходимость разработки нового метода, который позволил бы работать не с коэффициентами спектра, а непосредственно с модельными спектрами. В связи с этим предлагается метод спектральной интерполяции, основанный на непосредственном

использовании модельных спектров, что позволит учесть тонкие спектральные особенности и, в частности, «железный провал». В отличие от предыдущего подхода, основанного на интерполяции коэффициентов делютированного черного тела, новый метод позволяет сохранять спектральные линии и учитывать вариации спектра, что приводит к более точному воспроизведению наблюдаемых характеристик.

Результаты работы продемонстрированы на двух наборах графиков для нейтронной звезды с солнечной металличностью – для случая быстрого вращения и для случая стационарной звезды (Рис.1). На графиках приведены сравнения старой (интерполяция по коэффициентам делютированного черного тела) и новой методики, где видно, что новая интерполяция корректно восстанавливает провал, в то время как итоговые спектры делютированного черного тела остаются согласованными. Особенно для невращающейся звезды оба метода практически совпадают, что служит дополнительной проверкой работоспособности предложенного подхода.

Дальнейшие исследования будут направлены на использование полученной численной модели для интеграции эффекта «слоя растекания», теоретическое описание которого предложено в [3]. Предполагается, что поскольку вышеописанные проблемы наблюдаются именно в случае плотного аккреционного диска, подобный эффект действительно может влиять на итоговый спектр. В связи с этим, а также при учёте доплеровских поправок для более быстрого слоя растекания, ожидается эффект «сглаживания» наблюдаемого спектра, что, возможно, объясняет отсутствие «провала» в реальных данных. Таким образом, новая реализация спектральной интерполяции представляет собой первый шаг к решению проблемы мягкого состояния барстеров.

Литература:

1. Suleimanov, V.F., Poutanen, J., Klochkov, D. et al. Measuring the basic parameters of neutron stars using model atmospheres // *Eur. Phys. J. A* 52, 20 (2016).
2. Valery F. Suleimanov, Juri Poutanen, Klaus Werner et al.. Observational appearance of rapidly rotating neutron stars X-ray bursts, cooling tail method, and radius determination // *A&A*. 2020. V. 639: A33.
3. Inogamov, N. A. & Sunyaev, R. A. (1999). Spread of matter over a neutron-star surface during type I X-ray bursts. // *Astronomy Letters*, 25, 269.

ОЦЕНКА РЕАЛИСТИЧНОСТИ ФРАКТАЛЬНОГО СЦЕНАРИЯ ЭВОЛЮЦИИ ВСЕЛЕННОЙ ПО ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ДАНЫМ DESI

Шумилкина Ю.Р., Фролова В.М., Чебакова С.А.,
Филатов В.В.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) – спектрометрическая система с корректирующей оптикой и широким (3°) полем зрения на основе четырехметрового рефлектора обсерватории Китт-Пик (Аризона, США), позволяющая одновременно регистрировать спектры нескольких миллионов галактик. К настоящему времени обработаны данные 6 млн галактик [1], в общих чертах подтвердившие стандартную космологическую модель Λ CDM, однако выявившие аномалию в динамике темной энергии. Так, корреляционный анализ барионных акустических осцилляций для галактик в срезах с одинаковым красным смещением, позволяющий исследовать скорость расширения Вселенной на протяжении нескольких миллиардов лет, указывает на вероятное отклонение уравнения состояния темной энергии от стандартного $p = -\varepsilon$ в пользу $p = (-0,761 \pm 0,065)\varepsilon$. По всей вероятности, этот результат следует интерпретировать как "эволюцию" темной энергии по сценарию медленного скатывания, в конце которого соответствующее квантовое поле (квинт-эссенция) коллапсирует в частицы, одновременно возникающие во всем пространстве [2]. Последнее идентично Большому взрыву, воспроизведенному при низкой температуре и представляет несомненный теоретический интерес, поскольку позволяет поставить вопрос о фрактальном (то есть, самовоспроизводящемся на разных масштабах) расширении Вселенной по типу Гурзадяна-Пенроуза [3]. Оценка реалистичности подобного сценария с учетом новых наблюдательных данных и представляет цель данной работы.

Литература:

1. DESI Collaboration. DESI 2024 VII: Cosmological Constraints from the Full-Shape Modeling of Clustering Measurements, arXiv:2411.12022.
2. А.Е. Куприна. Конформная инвариантность и космологическое рождение частиц // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2024» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, Е.И. Зимакова. [Электронный ресурс] – М.: МОО СИПНН Н.Д. Кондратьева, 2024.
3. V.G.Gurzadyan, R.Penrose. Concentric circles in WMAP data may provide evidence of violent pre-Big-Bang activity, arXiv:1011.3706.

ФИЗИКА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ



ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И РЕЖИМОВ МАГНИТНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ С РАССТОЯНИЕМ

Анциферова У.П.^{1,2}, Хабарова О.В.¹, Кислов Р.А.¹

¹ *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

Солнечный ветер – поток ионизированных частиц плазмы, являющийся продолжением расширяющейся солнечной короны и простирающийся до 100 астрономических единиц (1 а.е. - расстояние от Солнца до Земли), является одним из основных компонентов межпланетной среды. Напряженность магнитного поля, температура, плотность, скорость протонов и, альфвеновская скорость, - ключевые параметры, - используемые для исследования процессов, происходящих в гелиосфере. Пространственные профили этих величин, оцененные по данным космических аппаратов *in situ*, используются для задания граничных условий в магнитогидродинамических (МГД) моделях солнечного ветра и токовых слоёв, а также для оценок параметров построения моделей магнитного пересоединения, развития турбулентности и ускорения частиц внутри плазменных структур на разных гелиоцентрических расстояниях. Лишь небольшое количество исследований включает в себя рассмотрение некоторых из указанных параметров на масштабах порядка долей астрономической единицы по данным отдельных аппаратов. В связи с этим, назрела необходимость построения осредненных характеристик солнечного ветра на разных расстояниях от Солнца по всем имеющимся базам данных, накопленным за космическую эру.

В данной работе используются измерения миссий Helios 1, Helios 2, Pioneer 10, Voyagers 1, Voyager 2, IMP 8, Parker Solar Probe (PSP) и Solar Orbiter (SolO). Такая выборка данных производилась для периодов минимума и роста солнечной активности. В ходе исследования мы получили пространственные профили напряженности магнитного поля, температуры, плотности и скорости протонов, альфвеновской скорости на масштабе от 0.1 а.е. до 7 а.е.. Дополнительно проведен более детальный анализ поведения плотности солнечного ветра, его и скорости протонов, и альфвеновской скорости на гелиоцентрических расстояниях до 0.4 а.е. Полученные результаты позволяют оценить режим магнитного пересоединения по разным моделям. Было показано, что в области между орбитами Марса и Юпитера тип магнитного пересоединения меняется со стационарного на взрывной нестационарный, поскольку реальный поток вещества, рассчитанный по измерениям космических аппаратов, превышает некую критическую величину, выше которой стационарный режим пересоединения не реализуется.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПЛАЗМЕ НА ВНЕШНЕЙ ГРАНИЦЕ ПЛАЗМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Беспалова Д.С.^{1,2}, Могилевский М.М.², Чугунин Д.В.²

¹ НИУ Высшая школа экономики

² Институт космических исследований РАН

В работе анализируются результаты измерений электрической составляющей электромагнитного поля, выполненные на спутнике ERG. По вариациям частоты верхнего гибридного резонанса впервые выявлены колебания плотности плазмы вблизи плазмопаузы с характерными периодами 2-8 минут. Показано, что колебания на границе плазмосферы зависят от геомагнитной активности: при низкой активности колебания существуют и имеют большую амплитуду, при увеличении геомагнитной активности амплитуда колебаний уменьшается, и при $K_p = 3-4$ колебания прекращаются. Используя эмпирическую формулу, связывающую положение плазмопаузы и геомагнитную активность, была оценена критическая скорость, при которой возбуждаются колебания, и скорость волны, распространяющейся из плазмосферы во внешнюю область. Сделано предположение, что природа этих колебаний носит акустический характер.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОТОКА ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВДОЛЬ ТРАССЫ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА БЕПИКОЛОМБО К МЕРКУРИЮ ПО ДАНЫМ ПРИБОРА МГНС

Губарев В.Д.^{1,2}, Козырев А.С.¹, Митрофанов И.Г.¹,
Литвак М.Л.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

Галактические космические лучи (ГКЛ) представляют собой высокоэнергетичные заряженные частицы (преимущественно протоны), приходящие в Солнечную систему из межзвёздного пространства. Их интенсивность изменяется под воздействием солнечного ветра и магнитного поля Солнца, что приводит к уменьшению потока ГКЛ с приближением к Солнцу.

В данной работе проводится анализ потока нейтронов по данным российского эксперимента МГНС [1], установленного на космическом аппарате (КА) ЕКА МПО/БепиКоломбо (БК) [2]. Нейтроны являются вторичными частицами, которые образуются в веществе КА под воздействием ГКЛ. Данные вдоль трассы движения КА к Меркурию покрывают период с начала круиза КА БК (начало 2019 года) по настоящее время. Данные прибора МГНС сопоставляются с данными нейтронного детектора ХЕНД/Марс Одиссей, который проводит измерения на орбите вокруг Марса [3]. Также в работе представлено сопоставление с данными наземных станций, производящих мониторинг потока ГКЛ. Сопоставление данных прибора МГНС с данными других экспериментов позволяет оценить радиальную составляющую уменьшения потока ГКЛ при приближении к Солнцу.

Полученные результаты позволяют оценить влияние солнечного ветра на распространение ГКЛ и могут быть полезны для уточнения моделей распространения ГКЛ на расстояниях около 0.4-1.0 а.е.

Литература:

1. Mitrofanov I.G., Kozyrev A.S., Konovalov A., Litvak M.L., Malakhov A.A., Mokrousov M.I., Sanin A.B., Tretykov V.I., Vostrukhin A.V., Bobrovnikskij Yu.I., et al. The Mercury Gamma and Neutron Spectrometer (MGNS) on board the Planetary Orbiter of the BepiColombo mission // *Planetary and Space Science*.–2010.– Vol.58.–P.116–124.

2. Benkhoff J., Murakami G., Baumjohann W., Besse S., Bunce E., Casale M., Cremosese G., Glassmeier K.-H., Hayakawa H., Heyner D., et al. BepiColombo - Mission Overview and Science Goals // *Space Science Reviews*. – 2021. – Vol.217. – P.90.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s11214-021-00861-4>.

3. Mitrofanov I.G., Litvak M.L., Kozyrev A.S., Sanin A.B., Tret'yakov V.I., Boynton W.V., Shinohara C., Hamara D., Saunders S., Drake D.M. Search for Water in Martian Soil Using Global Neutron Mapping by the Russian HEND Instrument Onboard the US 2001 Mars Odyssey Spacecraft.

ХАРАКТЕРИСТИКИ И СВОЙСТВА НЕТЕПЛОВОГО ГЕКТОМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Дорофеев Д.А.^{1,2}, Чернышов А.А.¹, Чугунин Д.В.¹,
Могилевский М.М.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

Нетепловой гектометровый континуум (ГМК) - высокочастотное узкополосное излучение в диапазоне частот 525 - 1700 кГц с поляризацией соответствующей обыкновенной моде. Впервые было обнаружено на японском спутнике ERG (Arase). Данный тип излучения наблюдается преимущественно на ночной стороне магнитосферы, а его источники вероятно расположены на расстояниях (1.1-2)RE (RE - радиус Земли) на низких широтах. Установлено, что наблюдение ГМК не имеет прямой зависимости от геомагнитной активности. Недавно было показано, что механизм двойного плазменного резонанса может теоретически объяснить существующие измерения гектометрового излучения в околоземной плазме. Также была проанализирована статистика за период в почти 7 лет (2017-2023). За период в почти 7 лет (2017-2022) зарегистрировано более 1000 случаев наблюдения ГМК, что позволило выявить характерные особенности на разных временных масштабах. Например, существование временного смещения генерации гектометрового континуума на 1-3 часа во время рассвета и заката. Вероятнее всего, это связано с тем, что ночью, когда отсутствует солнечная радиация и плотность плазмы в верхней ионосфере снижена, происходит генерация ГМК. На более крупных масштабах были выявлены сезонные и годовые вариации гектометрового континуума. Преобладание случаев гектометрового излучения наблюдалось в летние месяцы, наименьшее количество случаев приходилось на осеннее и весеннее равноденствия. Кроме того, начиная со второй половины 2022 года, ГМК перестал наблюдаться, что может быть связано с приближением к пику 25-го цикла солнечной активности, на что указывает рост индекса F10.7, чисел Вольфа и излучения Лайман-альфа, традиционно характеризующих солнечную активность.

ВОЛНЫ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ В АСТРОСФЕРАХ

Заболотный И.П.^{1,2}, Измоденов В.В.^{1,2,3}

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

² *Институт космических исследований РАН*

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

При движении звезды, испускающей сверхзвуковой звездный ветер, на скоростях превышающих скорость звука в локальной межзвездной среде возникает структура, состоящая из двух ударных волн и тангенциального разрыва между ними. Наблюдения в высоком качестве показали, что распределение пыли в таких областях может быть немонотонным и содержать нитевидные области повышенной концентрации (филаменты).

В данной работе рассмотрено распределение пыли за ударными волнами в идеальной плазме. Было обнаружено, что для распределения пыли, характерного для межзвездной среды могут возникать волны концентрации пыли с которыми связываются особенности распределения пыли в астросферах.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ СОЛНЦА

Зубик В.С.^{1,2}, Зимовец И.В.^{1,2}

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Институт космических исследований РАН

Исследование параметров магнитного поля и электрических токов активных областей (АО) Солнца - важная задача, т.к. может усовершенствовать понимание явлений энерговыделения, происходящих на Солнце, а также улучшить способы предсказания солнечных вспышек.

В данной работе исследовались характеристики магнитного поля и электрического тока в нейтральной линии (линии инверсии вертикальной компоненты магнитного поля). В качестве исследуемых данных использованы фотосферные векторные магнитограммы прибора SDO/HMI [1]. Выполнена экстраполяция магнитного поля с фотосферы Солнца в корону с помощью пакета GX Simulator.

При анализе данных были получены интегральные параметры: длина нейтральной линии потоки магнитного поля и электрического тока через нейтральную линию, показатель свободной магнитной энергии [2]. Также в работе был получен безразмерный параметр D , описывающий количество нейтральных областей в АО [3]. Для расчётов некоторых параметров применялась экстраполяция магнитного поля с фотосферы в верхние слои [4].

В работе проведён анализ зависимостей мощности вспышки произошедшей в различных областях от вычисленных параметров. Дополнительно получены значения корреляции для данных зависимостей.

Литература:

1. Hoeksema, T. et al (2014). The Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) Vector Magnetic Field Pipeline: Overview and Performance. *Solar Physics*. 10.1007/s11207-014-0516-8.
2. Falconer, D. et al (2014). MAG4 versus Alternative Techniques for Forecasting Active-Region Flare Productivity. *Space Weather*. 12. 10.1002/2013SW001024.
3. Cicogna, D. et al (2021). Flare-forecasting Algorithms Based on High-gradient Polarity Inversion Lines in Active Regions. *The Astrophysical Journal*. 915. 38. 10.3847/1538-4357/abfabf.
4. Stupishin, A. Magnetic Field Library: NLFFF and magnetic lines // <https://doi.org/10.5281/zenodo.3896222>

СРАВНЕНИЕ PIVLAB И CACTUS В КОНТЕКСТЕ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ СОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ КОРОНАЛЬНОМ ВЫБРОСЕ МАССЫ

Каламанов В.Г.

Институт космических исследований РАН

Проведено сравнение результатов анализа динамики солнечной плазмы при корональном выбросе массы при помощи программы PIVLab с данными каталога CACTus и на основе результатов сравнения сделан вывод о возможности использования метода трассерной визуализации в качестве альтернативы общепринятым методам анализа динамики солнечной плазмы.

PIV-метод — это один из методов метод трассерной визуализации, анализа потока жидкости с целью определения гидродинамических и топологических параметров. Он позволяет определить гидродинамические параметры потока жидкости, фокусируясь на конкретных светящихся точках, фиксируя их положение на последовательных кадрах медиафайла. В результате, формируется вектор изменения положения для последующего анализа методом цифровой обработки. В качестве образца PIV программ была выбрана PIVLab.

Для визуализации была подобрана серия видеоматериалов (со спутника SOHO) корональных выбросов массы различной интенсивности в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне (длина волны от 19.3 до 30.4 нм) для последующего анализа в PIVLab. На основе анализа было получено скоростное поле для каждого из корональных выбросов массы. Затем, было проведено сравнение с данными каталога CACTus.

В результате исследования было установлено, что диапазон скоростей, полученный с помощью программы PIVLab отличается незначительного от диапазона скоростей, зарегистрированного в базе данных CACTus. При этом, из-за особенностей работы алгоритма преобразований Хафа, на котором построена работа программы CACTus, создатели были вынуждены обрабатывать изображения с целью подавления шума. Как показывает практика, это влечет за собой ухудшение точности полученных результатов в связи с потерей части данных, принятых за шум. Также, были обнаружены преимущества использования метода трассерной визуализации при анализе крайне мощных корональных выбросов массы. Так, при анализе мощных корональных выбросов массы, PIVLab способен комплексно оценивать событие, не разделяя его на отдельные эпизоды, как это делает CACTus.

В целом, программы на подобии PIVLab, работающие на основе метода трассерной визуализации и имеющие встроенный калибровочный механизм, позволяют совмещать преимущества методов составления баз данных SOHO-LASCO и CACTus, нивелируя большинство их недостатков. При этом, в ходе исследования не было найдено критических проблем в контексте использования PIV метода при анализе динамики солнечной плазмы.

В результате исследования был сделан вывод, что метод трассерной визуализации является достойной альтернативой существующим методам анализа динамики солнечной плазмы при корональном выбросе массы и может быть использован в дальнейших исследованиях.

ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМЕННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ АВРОРАЛЬНОГО КИЛОМЕТРОВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

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

¹ *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН*

² *Институт космических исследований РАН*

³ *НИУ Высшая школа экономики*

На протяжении последних пяти десятилетий накопленные эмпирические данные о свойствах аврорального километрового радиоизлучения (АКР) открыли новые перспективы для изучения условий его распространения в окружающей среде. В рамках исследования представлены результаты статистического анализа данных АКР, зарегистрированных спутником WIND вблизи точки либрации L1. Проведённый анализ выявил наличие долгопериодных вариаций частоты регистрации АКР, включая асимметрию распределения вдоль оси Y: в период минимальной солнечной активности излучение чаще фиксируется в интервале Y от +50 R_E до +100 R_E по сравнению с диапазоном Y от -50 R_E до -100 R_E. Дополнительно установлено, что частота регистрации АКР уменьшается при увеличении солнечной активности и возрастает при её снижении, что противоречит устоявшейся гипотезе о прямой корреляции между этими параметрами. Сделано предположение, что данные особенности обусловлены влиянием неоднородной плазменной структуры солнечного ветра на процессы распространения АКР, а не его генерации.

ПАРАМЕТРЫ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ВО ВРЕМЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ СОБЫТИЙ ПО ДАНЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Кривохлябина М.Я.¹, Синевич А.А.^{1,2}, Чернышов А.А.¹,
Чугунин Д.В.¹, Могилевский М.М.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

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

Экстремальная геомагнитная буря Дня Победы 10-12 мая 2024 года является наиболее интенсивной в двадцать первом столетии. Столь сильные геомагнитные возмущения значительно повлияли на параметры ионосферной плазмы Земли. В данной работе мы используем результаты измерений спутников Swarm для исследования авроральной и субавроральной областей ионосферы. Также проведено сравнение полученных результатов с измерениями во время Октябрьской бури 10-12 октября 2024 года.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПЕРЕХОДНОМ СЛОЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ КА MMS

Лаврухин А.С.

*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ
имени М.В. Ломоносова*

В данной работе проводится сравнение аналитической модели магнитного поля в переходном слое магнитосферы Земли с данными, полученными с космических аппаратов. Переходный слой является областью между головной ударной волной и магнитопаузой.

В работе [1] было проведено сравнение различных аналитических моделей переходного слоя магнитосферы Земли с 34 пересечениями переходного слоя на КА Cluster 1-4 (27 пересечений), THEMIS C, E (2 пересечения) и MMS 1, 2 (5 пересечений) за 2002-2019 гг. В качестве параметров межпланетного пространства использовались данные OMNI. Был сделан вывод о том, что модель [2], в которой головная ударная волна и магнитопауза аппроксимируются параболоидами вращения, работает лучше всего.

В настоящей работе по сравнению с [1] было расширено количество анализируемых данных с различных КА. Для выделения области переходного слоя использовались данные о пересечениях головной ударной волны и магнитопаузы космическим аппаратом MMS для спокойных условий в солнечном ветре. Было проанализировано более 100 пересечений переходного слоя, было проведено сравнение с моделью [2] и определена средняя невязка между моделью и измеренным полем. Было проведено сравнение невязки для пересечений квазиперпендикулярной и квазипараллельной головной ударной волны.

Литература:

1. Vandas M., Romashets E. // J. Geophys. Res.: Space Physics 2024. V. 129. e2023JA032393.
2. Kobel E., Flückiger E.O. // J. Geophys. Res.: Space Physics 1994. V. 99(A12). P. 23617.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ СОЛИТОНЫ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ПЛАЗМЕННОМ СЛОЕ ГЕОМАГНИТНОГО ХВОСТА ЗЕМЛИ

Леоненко М.В., Григоренко Е.Е., Зелёный Л.М.

Институт космических исследований РАН

Используя спутниковые наблюдения MMS в хвосте магнитосферы Земли, мы показали, что в горячей бесстолкновительной плазме, турбулизованной за счет распространения БПП из области первичного пересоединения, происходит формирование множественных вторичных источников ускорения электронов. Такими источниками могут быть области вторичных микропересоединений происходящих на суб-ионных и электронных кинетических масштабах. Наши исследования показали наличие множественных «вторичных магнитных сепаратрис», вдоль которых распространяются пучки электронов ускоренных до сверхтепловых энергий. Распространение быстрых продольных электронных пучков приводит к развитию неустойчивостей, результатом которых становится генерация сильных ЭСВ, подобных тем которые ранее наблюдались вблизи сепаратрис первичного пересоединения.

В работе проведен анализ электрических полей вблизи нейтральной плоскости геомагнитного хвоста Земли во время распространения Быстрых Плазменных Поток (БПП). Обнаружено присутствие Электростатических Солитонных Волн (ЭСВ) с амплитудой до 100 мВ/м в центральном плазменном слое ($B_x < 5$ нТл), вдали от первичного магнитного пересоединения и его сепаратрис.

ЭСВ наблюдаются как параллельные внешнему магнитному полю всплески неидеального электрического поля, которое определяется как электрическое поле в системе покоя электронов:

$\mathbf{E}' = \mathbf{E} + [\mathbf{V}_e \times \mathbf{B}]$, где \mathbf{E} – наблюдаемое электрическое поле, \mathbf{V}_e – электронная потоковая скорость, \mathbf{B} – внешнее магнитное поле. Волновой пакет ЭСВ типично содержит от нескольких до пары десятков униполярных всплесков.

Показано, что генерация ЭСВ может приводить к падению параллельной электронной температуры до 15%, что совпадает по порядку величины с флуктуациями электрического потенциала ЭСВ. Наблюдаемые ЭСВ приводят к интенсивной трансформации энергии с объемной мощностью до 2.5 нВт/м³.

Типичные характеристики ЭСВ, обнаруженных в данной работе, совпадают с теми, которые наблюдались в пограничном плазменном слое вблизи сепаратрис первичного магнитного пересоединения: амплитуда параллельного неидеального электрического поля порядка десятков мВ/м, длительность порядка 10-20 мс, толщина порядка 5-10 дебаевских радиусов. Наблюдаемая скорость распространения ЭСВ составляет порядка 1000 км/с, что соответствует энергии резонансных электронов порядка 1-10 эВ.

В работе доказано, что ЭСВ обычно наблюдаются в присутствии интенсивных, параллельных магнитному полю токовых слоев электронных кинетических масштабов, генерируемых сверхтепловыми электронными пучками, распространяемыми из удаленных источников. Генерация ЭСВ наиболее вероятно связана с развитием ионной/электронной акустической неустойчивости.

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

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ В ВАРИАЦИЯХ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПО ДАННЫМ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ

Мандрикова Б.С., Мандрикова О.В.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Исследование космических лучей является одной из важнейших задач астрофизики. Учеными изучаются астрофизические объекты, служащие генератором спектра космических лучей, процессы, приводящие к его формированию, а также распространение частиц из космоса до Земли [1, 2]. Помимо этого, космические лучи активно используются в ряде прикладных исследований в области солнечно-земной физики и важны в изучении процессов в околоземном пространстве [3, 4]. Во время аномальных процессов на Солнце и магнитных бурь происходят значительные изменения в радиационных поясах, наблюдается деформация магнитосферы, сжатие радиационного пояса и смещение его максимальной протяженности, что в последствии приводит к сбоям в работе наземных и спутниковых технологических систем вплоть до катастрофического отказа. Поэтому проблема создания методов, обеспечивающих возможность проведения анализа и контроля состояния природной среды в режиме реального времени с приемлемой точностью приобретает особую актуальность [3].

В работе представлены результаты разработанного авторами метода обнаружения Форбуш-эффектов в вариациях интенсивности космических лучей по данным наземных нейтронных мониторов [5]. Метод включает нейросетевые элементы и адаптивные вейвлет-конструкции. Основу метода составляют разработанные авторами когнитивные правила выбора решения, являющиеся синтезом теории статистических решений с вейвлет-преобразованием. Когнитивные правила позволяют в темпе поступления данных в систему обработки подавить помехи (включая коррелированные) и получить близкое к оптимальному решение, в определенном статистическом смысле. Также преимуществом метода, по сравнению с аналогами, является его применимость при ограниченных выборках данных. В работе рассмотрены периоды, содержащие сильные и экстремальные геомагнитные бури за 2023-2025 гг. Применение метода позволило в 85% случаев обнаружить аномальные изменения в вариациях космических лучей, возникшие за несколько часов до начала Форбуш-понижений и регистрации геомагнитных бурь.

Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № темы 124012300245-2).

Литература:

1. Мурзин В.С. Астрофизика космических лучей: учеб. пособие для вузов. Москва: Логос. 2007. — 487 с.
2. Топтыгин И.Н. Космические лучи в межпланетных магнитных полях. Москва: Наука. 1983. — 304 с.
3. Кузнецов В.Д. Космическая погода и риски космической деятельности // Космическая техника и технологии. 2014. — №. 3 (6). — С. 3–13.
4. Белов А.В., Виллорези Д. и др. Влияние космической среды на функционирование искусственных спутников земли // Геомагнетизм и аэронавигация. 2004. — Т. 44. — № 4. — С. 502-510.

5. Mandrikova O., Mandrikova B. Hybrid Model of Natural Time Series with Neural Network Component and Adaptive Nonlinear Scheme: Application for Anomaly Detection // Mathematics. 2024. — 12. — 1079. <https://doi.org/10.3390/math12071079>.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ СОЛНЕЧНЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ПЕТЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ

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

Институт космических исследований РАН

Поперечные колебания солнечных корональных петель, обычно называемые изгибными (kink) колебаниями, являются одним из наиболее изучаемых колебательных явлений в солнечной короне. Изгибные осцилляции стали популярным инструментом МГД-сейсмологии корональной плазмы, так как они позволяют производить уникальную диагностику абсолютного значения магнитного поля в осциллирующей петле и дают информацию о поперечном профиле плотности плазмы, стратификации плотности и вариации альфвеновской скорости вдоль петли. Однако в данный момент не существует алгоритмов автоматического их детектирования, поэтому отбор событий для анализа проводится в ручном режиме, что затратно по времени в контексте набора большого количества данных для статистического анализа. В данной работе мы используем ультрафиолетовые снимки Солнца, полученные прибором Atmospheric Imaging Assembly на борту the Solar Dynamics Observatory (AIA/SDO). На основе этих данных и уже существующих каталогов изгибных колебаний обучается нейросеть ResNet-18. В докладе будут представлены результаты обучения, которые уже на начальном этапе дают достаточно хороший результат, а именно точность предсказания колебаний на тестовых данных равна 88%.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ В ПЛАЗМЕННОМ СЛОЕ ГЕОМАГНИТНОГО ХВОСТА В УСЛОВИЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БЫСТРЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ И ИХ ОТСУТСТВИЯ

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

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

В работе выполнен статистический анализ токовой структуры Плазменного Слоя (ПС), наблюдаемой спутниками MMS в интервалы Быстрых Плазменных Поток (БПП), движущихся со скоростями $|V_{i,x}| > 200$ км/с, а также во время спокойных интервалов, когда потоковая скорость ионов была низкой ($|V_{i,x}| \leq 200$ км/с). Рассмотрено 19 спокойных и 23 возмущенных интервала. Построены плотности распределения вероятности наблюдения величины плотности электрического тока (j), модуля неидеального электрического поля ($\mathbf{E}' = \mathbf{E} + [\mathbf{V}_e \times \mathbf{B}]$, где \mathbf{V}_e - потоковая скорость электронов, \mathbf{B} - напряженность магнитного поля) и плотности мощности преобразуемой энергии (параметр $j \cdot E'$) для различных областей ПС.

Обнаружено, что в спокойные периоды в ПС интенсивные токовые структуры не наблюдаются. Максимум распределения соответствуют значениям $|j| \sim 2 - 5$ нА/м². Распределение плотности вероятности j имеет резкий спад, и наблюдаемые значения j не превышают ~ 20 нА/м². Плотность трансформации энергии не превышает нескольких десятков пВт/м³. Во время возмущенных периодов плотность распределения вероятности значительно медленнее спадает с ростом j , чем в спокойные периоды. При этом, наблюдаемые значения j могут превышать 100 нА/м². Величина трансформации энергии может достигать несколько нВт/м³.

Установлено, что во время возмущенных периодов вероятность наблюдения интенсивных токовых структур во внешнем ПС существенно выше, чем в других областях ПС, что предположительно связано с большей устойчивостью токовых структур в высоких магнитных полях внешнего ПС.

Таким образом установлено, что генерация множественных интенсивных токовых структур и большие значения плотности энергии, трансформируемой в ПС, наблюдаются только во время распространения БПП из первичного магнитного пересоединения.

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ДЖЕТ ВО ВРЕМЯ КРУПНЕЙШИХ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ

Синеви́ч А.А.^{1,2}, Чернышов А.А.¹, Чугуни́н Д.В.¹,
Могилевский М.М.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

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

Поляризационный джет (PJ, также известный как субавроральный дрейф ионов, SAID) — это явление, возникающее в субавроральной ионосферной плазме. PJ/SAID представляет собой узкую полосу сильного западного дрейфа ионов на высотах F-слоя ионосферы вблизи границы проекции плазмопаузы. Хорошо известно, что генерация PJ/SAID и их характеристики тесно связаны с геомагнитной активностью. Поскольку во время экстремальных геомагнитных бурь ионосфера претерпевает значительные изменения, интересно исследовать поведение PJ/SAID в такие периоды. В данной работе мы изучаем и сравниваем случаи возникновения PJ/SAID и их характеристики в субавроральной ионосфере во время таких экстремальных геомагнитных бурь, как Хэллоуинская буря 29–31 октября 2003 года, Буря Дня Святого Патрика 17 марта 2015 года, Буря Дня Победы 10–12 мая 2024 года и Октябрьская буря 10–12 октября 2024 года.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕЗАРЯДКИ МЕЖДУ ПРОТОНАМИ И АТОМАМИ ВОДОРОДА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕЛИОПАУЗЫ

Титова А.В.

Институт космических исследований РАН

При взаимодействии солнечного ветра с межзвёздной средой формируется сложная структура, состоящая из ударных волн и тангенциального разрыва, называемого гелиопаузой. Межзвёздная среда является частично-ионизованной, и атомы водорода (которые являются основной составляющей нейтральной компоненты) проникают внутрь гелиосферы и взаимодействуют с протонами посредством процесса перезарядки.

В хвостовой части гелиопаузы может возникать неустойчивость Кельвина—Гельмгольца, обусловленная разностью скоростей потоков. Цель данной работы — изучить влияние перезарядки на развитие неустойчивости Кельвина—Гельмгольца. Для этого была разработана упрощённая модель, описывающая два параллельных потока плазмы, разделённых тангенциальным разрывом, что соответствует условиям в хвостовой части гелиосферы. Плазма рассматривалась как идеальный газ без теплопроводности с постоянной теплоёмкостью и показателем адиабаты $5/3$. Для описания течения использовались уравнения Эйлера с источниками импульса и энергии, возникающих из-за взаимодействия с атомами. В результате численного моделирования были получены двумерные распределения параметров плазмы. Исследование проводилось для различных чисел Кнудсена, характеризующих соотношение длины свободного пробега частиц к размеру системы.

Исследование показывает, что обменные столкновения между протонами и атомами водорода играют ключевую роль в подавлении неустойчивости Кельвина—Гельмгольца на гелиопаузе. При уменьшении числа Кнудсена течение стабилизируется, а крупномасштабные вихри исчезают.

МОДУЛЯЦИЯ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ГЕЛИОСФЕРЕ

Шестаков Д.А.¹, Измоденов В.В.²

¹ НИУ Высшая школа экономики

² Институт космических исследований РАН

Галактические космические лучи (ГКЛ) представляют собой заряженные частицы с энергиями выше 10 МэВ/нуклон, источник которых находится далеко за пределами Солнечной системы. Основную долю ГКЛ составляют протоны, ускоренные на ударных волнах в пределах нашей галактики. При движении из межзвездной среды ГКЛ подвергаются гелиосферной модуляции, то есть их интенсивность изменяется при прохождении через эту область пространства, заполненную солнечным ветром. Ключевое влияние на траектории этих высокоэнергичных заряженных частиц оказывает межпланетное магнитное поле.

В данной работе представлено численное моделирование проникновения галактических космических лучей через гелиосферу до орбиты Земли. Моделирование основано на численном решении уравнения переноса Паркера, описывающего эволюцию функции распределения ГКЛ, осредненной по питч-углам. Это уравнение включает в себя следующие физические процессы: конвективный перенос, анизотропную диффузию, адиабатическое охлаждение и дрейф частиц в магнитном поле.

Исследование проводилось в рамках стационарной сферически-симметричной постановки задачи, где коэффициент диффузии зависит от положения в пространстве и энергии частиц. Задача анализировалась как в гелиоцентрической сферической системе координат, так и в трехмерной декартовой сетке. Для численного решения были применены различные методы, включая метод установления, схему Кранка-Николсона и метод мелких шагов Н.Н. Яненко. Результаты численных подходов сравнивались с аналитическим решением для случая постоянного коэффициента диффузии.

Кроме того, была рассмотрена осесимметричная задача с анизотропным коэффициентом диффузии и межпланетным магнитным полем, имеющим форму спирали Паркера. Для численного решения использовался метод стохастических траекторий. Полученные результаты были сопоставлены с данными работы Jokipii and Kopriva (1979), что позволило проверить корректность предложенного подхода.

Таким образом, в работе рассмотрен и протестирован комплекс численных методов для моделирования проникновения ГКЛ через гелиосферу, что открывает возможности для дальнейших исследований.

ОБЗОР МЕТОДОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ УГЛА НОРМАЛИ ФРОНТА УДАРНОЙ ВОЛНЫ МКВМ

Ширяев А.О.¹, Азра-Горская К.Ж.^{1,2},
Вахрушева А.А.^{1,2}, Капорцева К.Б.^{1,2}, Лаврухин А.С.¹,
Невский Д.В.^{1,2}, Оганов С.А.^{1,2}

¹ НИИЯФ МГУ

² Физический факультет МГУ

Межпланетные корональные выбросы массы (МКВМ) — зарегистрированные в межпланетном пространстве выбросы солнечной плазмы. Геоэффективные МКВМ, вызывающие сильные геомагнитные возмущения, распространяются быстрее окружающего солнечного ветра, поэтому перед ними возникает магнитогидродинамическая ударная волна. Геоэффективность МКВМ определяется как магнитогидродинамическим давлением ударной волны, так и магнитной структурой тела МКВМ [1]. Наклон фронта ударной волны так же оказывает влияние на геоэффективность события: воздействие ударных волн с меньшим углом наклона приводит к более медленной эволюции системы [2, 3]. В работе рассмотрены результаты применения основанных на теореме магнитогидродинамической компланарности методов вычисления угла нормали фронта ударной волны МКВМ [4] по данным спутников ACE, WIND, DSCOVR, THEMIS на примере нескольких событий. Описан кинематический мультиспутниковый метод вычисления локальной нормали к ударной волне и показаны результаты применения его к данным спутников ACE, WIND, DSCOVR в точке L1 и THEMIS-B, MMS-1, Cluster 4 (TANGO) у Земли. Полученные результаты сравнены с нормальями, предоставленными в каталогах межпланетных ударных волн [5,6].

Литература:

1. Kilpua E.K.J. et al. Solar Wind Properties and Geospace Impact of Coronal Mass Ejection-Driven Sheath Regions: Variation and Driver Dependence // Space Weather. 2019. Vol. 17, № 8.
2. Rudd J.T. et al. How do interplanetary shock impact angles control the size of the geoeffective magnetosphere? // Adv. Space Res. 2019. Vol. 63, № 1. P. 317–326.
3. Oliveira D.M. Geoeffectiveness of interplanetary shocks controlled by impact angles: past research, recent advancements, and future work // Front. Astron. Space Sci. 2023. Vol. 10. P. 1179279.
4. Paschmann G., Daly P.W. Analysis Methods for Multi-Spacecraft Data. 1998.
5. CfA Interplanetary Shock Database [Electronic resource].
URL: <https://lweb.cfa.harvard.edu/shocks/> (accessed: 18.03.2025).
6. Oliveira D.M. Interplanetary Shock Data Base. 2023.

ЮНИОРЫ



РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПЛАНЕТОХОДА «ОСТАВЛЯЮЩИЙ СЛЕД ОС-8»

Баширов М.И.¹, Морозов Д.А.¹, Мигранов А.И.¹,
Хисматуллин А.К.²

¹ МАОУ "Гимназия №39 им. Файзуллина А. Ш."

² МАОУ "Физико-математический лицей №93"

В России представлена концепция изучения Луны в рамках Российской лунной программы тремя типами луноходов различного класса: тяжёлый — Робот-геолог, средний — Геолог-разведчик и лёгкий — Робот-геофизик [1,2]. Концепция использования трех типов планетоходов актуальна и для исследований других твердых тел в космическом пространстве. В данной работе предлагается конструкция универсального исследовательского планетохода тяжёлого класса, оснащенного научной аппаратурой для различных исследований, в том числе буровой установкой.

Разработан Универсальный исследовательский планетоход «Оставляющий след ОС-8» [3]. Он состоит из двух независимых модулей, соединённых сцепкой — системой шарниров и тросов. Проходимость обеспечивается амортизирующей поперечной торсионной подвеской и адаптивными колёсами [4] с бескамерными шинами изменяемой жёсткости, способными подстраиваться под различные типы грунта путём изменения площади контакта с поверхностью, крутящего момента и жёсткости шин.

Комплекс научной аппаратуры (КНА) позволяет проводить комплексные исследования состава поверхности и атмосферы, различных процессов и условий, а также исследование истории происхождения и формирования, жизнепригодности и поиск биомаркеров. Предложен состав КНА для исследований Марса, Титана (за исключением некоторых приборов) и экзопланет. На основе обзора [5] разработано грунтозаборное устройство, состоящее из ударно-вращательного колонкового бура со шнековым способом очистки скважины.

Литература:

1. Маров М. Я. Исследования Луны автоматическими космическими аппаратами // Космические исследования. Т. 61. № 1. С. 52–77. 2023. DOI: 10.31857/S0023420623010041
2. Marov M. Ya., Slyuta E. N. Early steps toward the lunar base deployment: Some prospects // Acta Astronautica. №181. Pp. 28–39. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.01.002>
3. Баширов М. И., Морозов Д. А., Хисматуллин А. К. Универсальный Исследовательский Планетоход «Оставляющий след ОС-8» // L Международная молодёжная научная конференция «Гагаринские чтения 2024». Сборник тезисов докладов школьной секции. С. 130–131. 2024
4. Хисматуллин А. К. Адаптивные колеса для исследовательского планетохода «Оставляющий след» // L Международная молодёжная научная конференция «Гагаринские чтения 2024». Сборник тезисов докладов школьной секции. 2024. С. 152–153.
5. Литвак М. Л. И др. Глубинные грунтозаборные устройства для будущих российских лунных полярных миссий // Астрономический вестник. Т. 54. №3. С. 225–246. 2020. DOI: 10.31857/S0320930X20030081

СПОСОБ ПОИСКА НЕИЗВЕСТНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД

Виноградов И.Д.

ГБОУ "Воробьевы горы"

Предложен способ нахождения неизвестных переменных звезд, основанный на обзорах неба с помощью разработанного алгоритма. Программа, реализующая алгоритм, написана на сайте ZTF DR23. Она сравнивала яркости звезд на заданном участке неба. Результатом работы является открытие звезды Vinogradov1, расположенной в Пегасе.

ОТКРЫТИЕ ПЕРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ GRIGORIEV 1 И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЁ ПАРАМЕТРОВ

Григорьев В.Г.

Центр астрономического и космического образования на Воробьёвых горах

Аннотация. Работа посвящена открытию затменной переменной звезды Grigoriev 1 и определению параметров двойной системы. Звезда была открыта в октябре 2024 года оригинальным методом в ходе проверки ультрафиолетовых источников космической обсерватории GALEX. Идею метода подсказала звезда Minkovskiy 6, ранее открытая на Паломарских пластинках. Эта звезда на снимках в УФ-диапазоне выглядела значительно ярче, чем в видимом свете. Нами был сделан вывод, что интересные объекты надо искать именно среди ультрафиолетовых источников.

Поиск проводился следующим образом. На сайте Simbad визуально выбирались объекты, которые отличаются синим цветом на снимках GALEX, но при этом выглядят как обычные звёзды на снимках Паломарского обзора неба DSS Colored. Затем кривые блеска этих объектов проверялись на сайте Фабрики транзиентов Цвики (ZTF DR23). Некоторые из таких объектов оказывались квазарами, другие – уже открытыми переменными звёздами. Наконец 24 октября мне удалось найти звезду в созвездии Пегаса, которая меняла свой блеск на 2 звёздных величины, при этом не числилась ни в каких каталогах переменных звёзд. Её не было ни в базе данных астрономических объектов Simbad, ни в Международном реестре AAVSO VSX. Проверка на сайте VizieR показала, что факт переменности не упоминается ни в данных космической обсерватории Gaia, ни в проектах ATLAS, ZTF, CSS, ASASSN и каких-либо других. Это означало, что открыта новая переменная звезда, которая время от времени меняет свой блеск примерно с 18 до 20 величины.

Для определения периода затмений использовалась программа WinEffect В. П. Горанского. Он оказался равен 6.5997 суток. Звезда была отправлена на регистрацию в Международный реестр переменных звёзд AAVSO VSX под именем Grigoriev 1 и была включена в каталог менее чем через 12 часов после открытия как переменная типа EA/WD (затменная двойная типа Алголя с белым карликом). Оказалось, что новая звезда является чрезвычайно редкой. В базе данных VSX среди 9.5 миллионов объектов насчитывается всего 188 переменных звёзд этого типа, причём среди них Grigoriev 1 занимает второе место по длительности орбитального периода. При этом затмение длится всего 1

По форме кривой блеска и продолжительности затмения мы определили параметры орбиты двойной системы и размер её компонентов. Диаметр красного карлика оценивается примерно в 600 тысяч км, диаметр белого карлика – менее 20 тысяч км, расстояние между ними – около 0.07 а.е., или 10 млн км. Такие звёзды представляют большую ценность для науки, так как позволяют практически напрямую определить размер, массу и температуру белого и красного карликов. По данным космической обсерватории Gaia звезда Grigoriev 1 находится на расстоянии около 1800 парсек (6 тысяч световых лет), то есть её абсолютная звёздная величина M в максимуме блеска составляет около +6.8. На диаграмме «цвет-абсолютная звёздная величина» по данным Gaia DR3 она занимает промежуточное положение между горячими субкарликами и белыми карликами, что делает её ещё более интересной. Скорее всего, горячий компонент двойной системы находится на переходной стадии эволюции от одного типа объектов к другому. Звезда заслуживает дополнительного исследования на профессиональных телескопах.

МЕЖОРБИТАЛЬНЫЙ БУКСИР ВЫСОКОЙ ТЯГОВООРУЖЕННОСТИ НА ЖИДКОСТНОМ РАКЕТНОМ ДВИГАТЕЛЕ

Губанов Д.А.

ООО "А-Рокетс"

Начало реализации Национального проекта «Развитие многоспутниковой орбитальной группировки» (2025-2030) открывает возможности и перспективы для разработок в области двигателестроения для малых космических аппаратов. Настоящий проект нацелен на проектирование и создание экономически выгодного межорбитального буксира, предназначенного для формирования группировок малых космических аппаратов массой от 5 до 200 кг, маневрирования, корректировки, поддержания целевой орбиты, увеличения активного срока жизни и сведения с орбиты МКА и космического мусора. Предусматривается три рабочие версии в зависимости от форм-фактора изделия.

Уменьшение массы и габаритов электронных элементов позволило радикально снизить требуемые массы и сроки изготовления МКА, в процесс которых вовлечены государственные организации и частные компании по всему миру. Крупнейшие российские НИЦ и ВУ-Зы, как правило, имеют свои МКА на орбите. Известны работающие проекты частных российских космических компаний «Бюро 1440» и «Спутникс», производящих микро- и нано- спутники, в т.ч. для осуществления широкополосной передачи данных.

Сегодня количество запускаемых МКА растет экспоненциально, тогда как количество запусков средств выведения линейно. В основном МКА запускаются в рамках кластерных запусков на ракетах легкого и среднего класса, что приводит к длительному ожиданию "попутного рейса" на нужную орбиту. Пуски на высокие орбиты и отлетные траектории редки. Большой сегмент рынка составляют запуски МКА на низкие орбиты с различными наклонениями и высотой 200...550 км. Пуски на геостационарную орбиту переживают спад. Срок существования аппаратов класса микро- составляет от 1 до 5 лет при их стоимости от нескольких сотен тысяч до нескольких млн долларов. Преимущественно это аппараты ДЗЗ ввиду широкого спектра применения.

Известно, что более 50% МКА не имеют собственной двигательной установки. Даже при её наличии на орбитальные маневры МКА накладываются большие ограничения: ввиду ограничений по массе, максимальному удельному импульсу и тяге различных типов ДУ, МКА не способны совершать высокоэнергетические орбитальные переходы.

Актуальной задачей является создание буксира, способного поддерживать и корректировать орбиту МКА в малых пределах изменения наклонения и эксцентриситета, компенсируя орбитальные пертурбации, вызванные остаточным атмосферным сопротивлением, фотонным давлением и другими факторами, осуществлять плановый свод МКА с орбиты по истечении активного срока существования, (при модификации) реализовать высокоэнергетические переходы для перевода МКА на целевые орбиты или отлетные траектории.

Большинство проектов межорбитальных буксиров предполагают использование ЭРД, преимуществом которых является высокий удельный импульс. Однако длительное время выдачи импульса делает невозможным использование эффекта Оберта для экономии топлива при совершении орбитального маневра. Использование аккумуляторных батарей выглядит невозможным из-за их чрезвычайно большой массы. Применение солнечных батарей связано с трудностями при входе аппарата в тень Земли. Системы на химических двигателях рассчитаны на использование высококипящего токсичного топлива. Кроме того, большая часть буксиров не предназначена для МКА и имеет значительные габариты

и энергетические характеристики, что обуславливает их высокую стоимость.

Таким образом, для разработки экономически выгодного межорбитального буксира для МКА необходимо соблюдение условий:

- отсутствие ЭРД и мощных силовых установок;
- использование нетоксичных и некриогенных компонентов топлива;
- максимизация возможного ТВР и ускорения.

Проектное решение.

Мини-буксир. Самостоятельная ДУ для МКА типа CubeSat, предназначенная для коррекции траектории, увода от столкновений с космическим мусором, компенсации атмосферного сопротивления, увеличения срока жизни спутника и его контролируемого свода с орбиты. Может использоваться как средство индивидуального перемещения для космонавтов при выполнении ВКД, а также как самостоятельная ДУ для созвездия кубсатов в рамках проекта РОСС.

Преимущества: возможность компенсаций орбитальных пертурбаций позволит увеличить срок жизни МКА (более 3-5 раз в зависимости от массы и типа орбиты); возможность единовременной (несколько минут) выдачи импульса позволит уменьшить массы топлива за счет использования эффекта Оберта, что увеличит конкурентоспособность изделия среди аналогов, использующих стационарные плазменные и электротермические двигатели.

Основные характеристики:

Тяга: 5-10 Н

Топливо: H_2O_2 70-80%

Метод разложения: каталитический

Подача компонентов: вытеснительная

Масса топлива: 0.2 кг

Масса сухая: 0.4 кг

Удельный импульс: 850 м/с – 1520 м/с

Характеристическая скорость собственная: 344.6 м/с – 616.3 м/с

Тип ДУ: ЖРД монотопливный

Время работы: 60.8 с – 33.9 с

Габариты: 80 мм × 80 мм

Буксир большой мощности позволит совершать высокоэнергетические орбитальные переходы, значительно меняя наклонение и эксцентриситет, осуществляя фазирование в широких пределах. Может использоваться для отправки аппаратов на отлетные или высокоэллиптические траектории (ГПО, или перевод с ГПО на ГСО).

Характеристики:

Тяга: 3550 Н

Топливо: H_2O_2 90%

Метод разложения: каталитический

Подача компонентов: вытеснительная

Масса топлива: 180.4 кг

Масса сухая: 93.3 кг

Удельный импульс: 1503 м/с

Характеристическая скорость собственная: 828.5 м/с

Тип ДУ: ЖРД, монотопливный

Время работы: 76.4 с

Габариты: 1875 мм × 720 мм × 720 мм

Проект является актуальным в свете реализации Национального проекта «Развитие многоспутниковой орбитальной группировки» и принят к рассмотрению Научно-техническим Фондом (Гильдией) «Рубежи науки».

ОТКРЫТИЕ ВОЗМОЖНОГО ОПТИЧЕСКОГО ПОСЛЕСВЕЧЕНИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКА GRB 850227

Коньков Л.Д.

ГБОУ "Воробьевы горы"

В ходе проверки участка неба в созвездии Девы на снимках Паломарского атласа неба мной был обнаружен необычный объект красного цвета с координатами: прямое восхождение R.A.=13h10m59s.54, склонение Decl.=−06°07′02″.9. Звёздная величина объекта в фильтре R равна 15.96 согласно каталогу GSC 2.3.2. Красная пластинка DSS была снята на обсерватории Сайдинг Спринг 28 февраля 1985 года в 17:06 UT с экспозицией 95 минут. На снимках PanSTARRS на месте транзита виден слабый диффузный объект. На более глубоких изображениях Камеры Тёмной Энергии DECaLS очевидно, что это галактика примерно 23.5 величины. Оптический транзит находится на расстоянии 0.9 угловой секунды от центра галактики. На момент открытия объект не значился ни в каталогах переменных звёзд и квазаров, ни в списках сверхновых. Он был отправлен на регистрацию на Сервер обозначений транзитов Международного Астрономического Союза и получил обозначение AT 1985V, см. <https://www.wis-tns.org/object/1985V>

Различие блеска транзита и галактики в 7.5 звездных величин слишком велико для сверхновой, но вполне правдоподобно для оптического послесвечения гамма-всплеска. Поиск возможных совпадений в каталогах космических гамма-всплесков показал возможный кандидат GRB 850227, зарегистрированный детектором на межпланетном КА Пионер-Венера-Орбитер (PVO) 27 февраля 1985 года в 01:06:21 UT (за 40 часов до снимка DSS). Всплеск продолжался более 9 секунд, после чего в данных бортовой памяти PVO произошёл сбой.

Мы предполагаем, что транзит 1985V является оптическим послесвечением гамма-всплеска GRB 850227. Если так, то это самое старое зарегистрированное отождествление гамма-всплеска в оптическом диапазоне. Прежний рекорд принадлежал всплеску GRB 920925C, обнаруженному приборами космической обсерватории «Гранат». В каталоге DESI Legacy Imaging Surveys DR8 имеется оценка фотометрического красного смещения предполагаемой родительской галактики $z=0.695\pm 0.221$. Соответствующая абсолютная звездная величина AT 1985V получается равной -27.2 ± 0.3 . Это исключает возможность того, что AT 1985V был сверхновой. С учетом погрешности определения красного смещения родительской галактики его яркость вполне согласуется с оптическим послесвечением известного гамма-всплеска GRB 030329, который спустя 48 часов после вспышки имел 16-ю звездную величину в фильтре R.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВСПЫШЕК ВТОРОГО ТИПА В ВЕ-РЕНТГЕНОВСКИХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ

Кузнецова Е.В.

ГБОУ Школа №1158

Институт космических исследований РАН

Аннотация: В работе проведено исследование зависимости вспышек II типа от различных параметров систем для 21 Ве рентгеновских двойных систем. Для каждой из систем были получены значения светимости и полного энерговыделения, а также фазы, на которых начинались вспышки. Было обнаружено несколько двойных систем с повторяющимися с фазой вспышками. Также было получено, что полное энерговыделение зависит от геометрических размеров двойной системы - чем больше проекция большой полуоси системы, тем меньше наблюдается энерговыделения во время вспышки, что согласно аккреции Бонди может быть напрямую связано с темпом аккреции и со скоростью нейтронной звезды относительно звездного ветра в системе.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОБЫЧНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ КХАВЧЕНКО 1

Маслак А.Е.

ГБОУ "Воробьёвы горы"

Моя работа посвящена исследованию необычной переменной звезды Khavchenko1. Она находится в созвездии Возничего и была открыта семиклассником Сергеем Хавченко в 2020 году. Звезда меняет свой блеск с амплитудой около 0.4 величины и периодом 4.213 суток.

Изначально эту звезду не удалось отнести ни к одному известному типу переменности. Ее кривая блеска представляет собой перевёрнутую кривую блеска затменной двойной, а также схожа с кривой блеска яркой красной новой V1309 Скорпиона за несколько лет до её вспышки.

Я исследовала новые данные, накопившиеся с 2020 по 2024 года в ходе проекта ZTF. Анализ этих данных показал, что со временем кривая блеска звезды меняется, а именно циклически изменяется амплитуда. На основании этих изменений мы пришли к выводу, что звезда является контактной двойной системой. Это усиливает возможное подобие Khavchenko 1 с V1309 Sco.

Мы выдвинули несколько вероятных моделей этой системы, при которых возможно такое необычное поведение данной звезды. Одна из моделей предполагает наличие горячего пятна на поверхности одного из компонентов системы, а вторая модель – циклическую активность холодных пятен наподобие солнечных.

В настоящее время период Khavchenko 1 примерно в 3 раза больше, чем у V1309 Скорпиона. Необходимы дальнейшие наблюдения за этой звездой для выявления изменений периода и оценки момента возможной вспышки.

КОНСОЛЬНАЯ СИМУЛЯЦИЯ ЗАДАЧИ N ТЕЛ С ПРОДВИНУТОЙ/НАСТРАИВАЕМОЙ ФИЗИКОЙ, СИМУЛЯЦИЕЙ РАЗРУШЕНИЯ И АНАЛИЗОМ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Медведев С.А.

ГБОУ Школа № 444

Проект реализует задачу N тел с интегратором Velocity Verlet (шаг времени $\Delta t = 2.5 \times 10^{-5}$ с, погрешность $\leq 0.008\%$) для решения уравнений Ньютона и законов сохранения импульса/энергии. Представляет из себя код, выполняющий вычисления и высокоточные расчеты, в последствии вывода преобразованный для визуального понимания результат в консоль библиотеки SFML.

Работа с моделью начинается установления параметров (симуляция/визуализация):

Симуляция: параметры шага времени (0.0001f), размера консоли, детальности симуляции, параметр генерации и количество тел в симуляции

Визуализация: параметры анимации, длина пути за телом

Общие параметры тел на основе критерия фон Мизеса ($\sigma_{\text{экв}} \geq 100$ МПа, где $\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2}$), с параметрами материалов:

Модуль Юнга: $E = 25$ ГПа (аналог алюминиевых сплавов);

Предел текучести: $\sigma_{\text{yield}} = 10^9$ Па (гранитные породы);

Деформация: $\varepsilon_{\text{max}} = 0.73$ (критическая деформация до фрагментации);

Адгезию тел: по модели Джонсона-Кендалла-Робертса (JKR) с коэффициентом слипания $\kappa = 0.78$ и силой адгезии $F_{\text{adh}} = (3/4)\pi\gamma R$, где $\gamma = 0.5$ Дж/м².

Физические тела в физической модели выполнены с использованием динамической адаптивной сетки основанной на сближении тел, тела в свою очередь представлены выпуклыми n-угольниками ($n = 3 - 3.6 \times 10^9$ вершин) с коррекцией формы при деформациях (алгоритм Graham scan + линейная интерполяция напряжений). При генерации симуляции итогом идеальной расстановки станет система, приводящая к инъекции тел в кеплеровские орбиты (эксцентриситет $e \leq 0.23$).

Одним из самых главных отличий текущей физической модели - продолжение симуляции после столкновения тел, а соответственно их учет в системе. Потому в модели присутствует возможность учитывать деформацию тел после столкновения (коэффициент деформации: $\delta = 0.0075^{-1}$ (сохранение объема при $\Delta V/V_0 \leq 2\%$); порог фрагментации для каменных тел: $E_{\text{break}} = 2.5 \times 10^6$ Дж/м³ (при R и v), образование агломератов: при $k > 0.7$ формируются кластеры из N тел (плотность 2.8 ± 1.3 г/см³). Для комфортного восприятия, при столкновения деформированный участок тела краснеет, в дополнение к тому в симуляции учтен режим цветовой кодировки для различных случаев.

Модель рассчитана на работу с бинарными (и более 2 тел) системами - устойчивыми конфигурациями ((погрешность орбиты: $\Delta r/r_0 < 0.1\%$) при эксцентриситете $e < 0.05$ сохраняют стабильность $> 10^5$ шагов ($\Delta t = 10^{-5}$ с)). При системе содержащей более 2 тел с равными параметрами характерно квазилинейное (в некоторых случаях предсказуемо-квазилинейное) поведение системы.

После создания опорных/стабильных версий модели были проведены многочисленные приведения статистик и сравнений таких как: число кластеров, кинетическая энергия системы ($E_k = \sum(0.5m_i v_i^2)$), дисперсия скоростей и многое другое.

Сравнение с данными SPH-симуляций показало отклонение $\leq 4.7\%$ по энергии разрушения и более 83% точности модели.

Проект позволяет:

- Исследовать эволюцию астероидных роев ($N \leq 4 \times 10^9$, плотность 0.5–10.5 г/см³);
- Оптимизировать параметры дробления горных пород (КРІ: размер фрагментов 0.1–0.3R);
- Моделировать адгезию в протопланетных дисках (критическая скорость слипания: 0.5–2 м/с);
- Нахождение систем тел и параметров способных существовать без столкновений;
- Наглядное изучение и поведения тел при разрушении и столкновении в заданных условиях;
- Симуляция движения тел в заданных условиях в целях предсказания точного результата.

Код (C++20) и документация не опубликованы. Результаты применимы в астрофизике, материаловедении и робототехнике (расчет сил сцепления в условиях микро гравитации). В перспективе развития проекта симуляция перейдет из плоскости в пространство, а так же улучшится работа физики разрушения и столкновения с использованием новых современных методов таких как: (Physics-Based Fracture), (Molecular Dynamics Fracture), (Finite Element Method, FEM), (Particle Bond Model). Также интеграция тетраэдрической сетки (Tetrahedral) вместо сетки по краям (поверхностных элементов от алгоритма FEM).

СБЛИЖЕНИЕ ОКОЛОЗЕМНЫХ АСТЕРОИДОВ С ЗЕМЛЕЙ

Мезенцева М.Е.

ГБОУ «Воробьевы горы»

Цель работы – исследовать наблюдаемые характеристики астероидов, сближающихся с Землей, и оценить частоту сближений тел различных размеров с нашей планетой. Для этого были проанализированы астероиды, подлетевшие к Земле ближе радиуса лунной орбиты за последний год. Используя данные Центра малых планет, были построены распределения этих астероидов по расстояниям сближения, размерам и по месяцам. А также проанализировать какое количество астероидов было открыто на северном и южном полушарии, и сделать определенные выводы.

На основании моей работы можно сделать несколько выводов о наблюдаемом и реальном количестве околоземных астероидов. Анализ данных наблюдений показывает, что многие астероиды внутри лунной орбиты пролетают незамеченными. Это говорит о том, что система защиты Земли от космической опасности остаётся несовершенной и нуждается в развитии. Для обнаружения тел метровых размеров необходимо строить более мощные телескопы и устанавливать их в разных полушариях Земли и за её пределами на определенных точках орбиты.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ

Мельниченко Д.А.

ГБОУ школа № 1158

Институт космических исследований РАН

Показаны траектории движения шарика в искусственно созданном пространстве под влиянием гравитационного поля, а также выявлена зависимость формы траектории от первоначального запаса потенциальной энергии шарика. Были изучены параметры и траектории движения нейтронных звезд в двойных системах. Получено, что орбиты нейтронной звезды в системе Cen X-3 и Her X-1 имеют форму окружности, в то время как Vela X-1 имеет чуть сплюснутую форму из-за сравнительно небольшого эксцентриситета 0.08. Анализ кривых блеска позволил определить орбитальные периоды нейтронных звезд в указанных системах, что достоверно сходится с полученными ранее результатами.

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ МИССИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АСТЕРОИДА ТАУТАТИС С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ВОЗВРАТА ОБРАЗЦОВ ГРУНТА НА ЗЕМЛЮ

Новошинская М.И.³, Харитонов Г.М.¹, Пименов А.В.²,
Михайлов И.И.⁴, Володченков А.П.⁵

¹ ГБОУ Школа №2086 г. Москва

² МАОУ СОШ №124

³ БОУ ОО «Созвездие Орла»

⁴ МБОУ "Гимназия им. И. Сельвинского"

⁵ СОГБОУИ "Лицей имени Кирилла и Мефодия"

На данный момент исследование астероидов представляет собой перспективное направление для изучения, при этом особый интерес вызывают астероиды, характеризующиеся неоднородным составом поверхности и внутренней структуры. Примером такого небесного тела является астероид Таутатис, образование которого, согласно гипотезам, связано со столкновением двух астероидов меньшего размера. Это делает его уникальным объектом для изучения, так как в ходе миссии возможно получение образцов грунта с различных участков поверхности, что позволит провести сравнительный анализ материалов разного происхождения.

В рамках инженерного проекта, разработанного коллективом КБ «Звёздное» во время участия во Втором Всероссийском космическом чемпионате – итоговом мероприятии Международного аэрокосмического фестиваля, был предложен проект исследования астероида Таутатис с использованием автоматической межпланетной станции (АМС). Проект включает в себя комплекс аппаратов: АМС, устройство для точечного забора грунта, посадочный модуль и роботизированное средство, способное передвигаться по поверхности астероида.

АМС оснащёна тремя посадочными модулями: два из них несут мобильные роботизированные средства, а третий – научную аппаратуру, включая разворачиваемый телескоп. Конструкция посадочного модуля предусматривает раскрытие трёх стенок корпуса по принципу лепестков. Роботизированное средство предназначено для непосредственного изучения поверхности астероида. Фиксация посадочного модуля на поверхности астероида осуществляется с помощью якорного устройства, аналогичного якорю Денфорта.

На борту АМС установлен манипулятор, предназначенный для забора образцов грунта в момент касания астероида. После сбора грунт помещается в малую возвращаемую капсулу, которая после заполнения отделяется от основного аппарата и направляется к Земле.

В рамках решения соревновательных задач командой были предложены дополнительные инженерные решения, включая разработку системы радиационной защиты, установку радиотелескопа на поверхности астероида, а также изменение траектории полёта с использованием группы кубсатов ударным методом.

В результате работы был сформирован первичный облик миссии, направленной на изучение астероида Таутатис с возможностью доставки образцов грунта на Землю. Данный проект может послужить основой для разработки будущих межпланетных миссий, направленных на исследование астероидов и других малых тел Солнечной системы.

МИССИЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЛУННОЙ ПЕЩЕРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ БАЗЫ

Харчишин Г.С.

КГАОУ «Школа космонавтики»

В настоящее время продолжается активное исследование Луны. Рассматриваются проекты по созданию базы на южном полюсе Луны. В этом есть свои преимущества, например, наличие водяного льда и зон с постоянным солнечным освещением. Я же предлагаю пойти по пути исследования лунных пещер для размещения там базы. Многие ученые уже давно рассматривают такую возможность, но пока планов нет. По современным исследованиям, пещеры крайне удобны для жизни человека. Во-первых, в пещеры не попадает космическая радиация, а это одна из самых больших проблем освоения Луны. Во-вторых, в пещерах легче поддерживать постоянный температурный режим. Также пещеры защищают от метеоритной опасности, что позволит значительно облегчить конструкцию базы.

В данной работе рассмотрены перспективы реализации Российской лунной программы и сделаны предложения по разработке миссии по исследованию лунных пещер.

Применялись современные цифровые средства автоматизированного проектирования и визуализации для презентации предлагаемых технологических решений (КОМПАС-3D и Blender 3D).

Были изучены и проанализированы научные публикации, посвященные истории исследований Луны и современному состоянию отечественной космонавтики, изучены труды специалистов НПО им. С. А. Лавочкина, рассмотрены и некоторые зарубежные материалы.

В проекте я предлагаю миссию по исследованию лавовой трубки, расположенной в Море Спокойствия, так как она является перспективной для размещения лунной базы. Существование этой лавовой трубки доказано учеными из университета Тренто в Италии с помощью архивных данных LRO. Миссия будет включать в себя Луноход, который приземлится недалеко от лавовой трубки и займётся её изучением. После внешнего осмотра Луноход оставит модуль для связи с Землёй на поверхности, а сам при помощи двигательной установки спустится на дно отверстия. Далее Луноход будет исследовать пещеру, замерять температуру и радиацию, а также создаст подробную 3D-модель.

Для доставки космического аппарата (КА) на Луну будет использоваться связка ракетоноситель «Союз-2.1б» и разгонный блок «Фрегат». Помимо них в самом КА будет двигательная установка для выполнения маневров. КА состоит из двух частей: посадочный модуль (ПМ) и ровер. Масса ПМ 400 кг, а ровера около 525 кг. Особенность ровера заключается в наличии реактивной двигательной установки, благодаря которой он сможет спуститься на дно отверстия.

В результате работы созданы 3D-модели и проведены необходимые расчёты.