

ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИКИ РАН 2024г.

Открытие новых черных дыр, нейтронных звезд и белых карликов телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории Спектр-РГ

Семена А.Н., Сазонов С.Ю., Мольков С.А., Лутовинов А.А., Арефьев В.А., Бунтов М.В., Буренин Р.А., Вихлинин А.А., Зазнобин И.А., Захаров Е.И., Карасев Д.И., Кривонос Р.А., Лапшов И.Ю., Левин В.В., Мереминский И.А., Павлинский М.Н., Поутанен Ю.Й., Семена Н.П., Сюняев Р.А., Ткаченко А.Ю., Усков Г.С., Филиппова Е.В., Цыганков С.С., Штыковский А.Е. (ИКИ РАН, Москва); Гаранин С.Г., Гарин М.Н., Григорович С.В. (РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров); Борисов К.В., Ворон В.В. (Роскосмос)

Телескоп ART-XC на борту обсерватории Спектр-РГ – единственный в мире зеркальный рентгеновский телескоп с широким полем зрения, который позволяет решить задачу построения карты всего неба и его отдельных областей в жестких рентгеновских лучах на недостижимом ранее уровне детализации. В текущем году была закончена работа по анализу данных глубокого обзора центральной области Галактики и первых пяти обзоров всего неба, проведенных в 2019-2022 гг. В результате на всем небе зарегистрировано более 1500 источников жесткого рентгеновского излучения, из которых примерно 10% ранее не были известны. В основном это аккрецирующие сверхмассивные черные дыры, скрытые за толщиной газа и пыли в ядрах галактик. В области Галактического центра обнаружено более 170 источников, треть из которых ранее не были известны (Рис. 1). По предварительным оценкам, подавляющая часть источников в центре Галактики являются аккрецирующими белыми карликами с сильным магнитным полем. С октября 2023 по ноябрь 2024 года телескоп ART-XC провел еще два полных обзора всего неба, продолжая открывать интересные объекты. В частности, был обнаружен и подробно исследован с высоким временным разрешением новый представитель редкого класса объектов – вспыхивающий аккрецирующий рентгеновский пульсар. Нейтронная звезда в этой двойной системе совершает каждую секунду 448 оборотов вокруг своей оси, а на ее поверхности каждые несколько часов происходят мощные термоядерные взрывы.



Рисунок 1. Рентгеновские источники, обнаруженные в области балджа Галактики в ходе глубокого обзора телескопа ART-XC обсерватории Спектр-РГ. Красными и зелеными символами отмечены известные катаклизмические переменные и маломассивные рентгеновские двойные системы, белыми — пока не отождествленные источники.

*Molkov S.V., Lutovinov A.A., Tsygankov S.S., Suleimanov V.F., Poutanen J., Lapshov I.Yu., Mereminskiy I.A., Semena A.N., Arefiev V.A., Tkachenko A.Yu. «Discovery of SRGA J144459.2-604207 with the SRG/ART-XC telescope: A well-tempered bursting accreting millisecond X-ray pulsar». Astronomy and Astrophysics, vol. 690, id.A353.
DOI: 10.1051/0004-6361/202450581*

Sazonov S., Burenin R., Filippova E., Krivonos R., Arefiev V., Borisov K., Buntov M., Chen C.-T., Ehler S., Garanin S., Garin M., Grigorovich S., Lapshov I., Levin V., Lutovinov A., Mereminskiy I., Molkov S., Pavlinsky M., Ramsey B.D., Semena A., Semena N., Shtykovsky A., Sunyaev R., Tkachenko A., Swartz D.A., Uskov G., Vikhlinin A., Voron V., Zakharov E., Zaznobil I. «SRG/ART-XC all-sky X-ray survey: Catalog of sources detected during the first five surveys». *Astronomy and Astrophysics*, vol. 687, id. A183 (2024).
DOI: 10.1051/0004-6361/202348950

Semena A., Vikhlinin A., Mereminskiy I., Lutovinov A., Tkachenko A., Lapshov I., Burenin R. «SRG/ART-XC Galactic Bulge deep survey. I. Maximum likelihood source detection algorithm for X-ray survey». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 533, p. 313-323 (2024).
DOI: 10.1093/mnras/stae1741

Semena A., Mereminskiy I., Lutovinov A., Sazonov S., Arefiev V., Borisov K., Burenin R., Buntov M., Garanin S., Garin M., Grigorovich S., Karasev D., Krivonos R., Levin, V., Lapshov I., Molkov S., Pavlinsky M., Shtykovsky A., Semena N., Sunyaev R., Tkachenko A., Vikhlinin A., Voron V. «SRG/ART-XC Galactic Bulge deep survey. II. Catalogue of point sources». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 529, p. 941-952 (2024). DOI: 10.1093/mnras/stae189

Тема государственного задания FFWG-2022-0010 ВСЕЛЕННАЯ рег. №122042500020-2, грант Минобрнауки 075-15-2024-647, грант РФФИ 19-12-00396
Направление ПФНИ 1.3.7 (Астрономия и исследования космического пространства)

Каскадное магнитное пересоединение как механизм трансформации магнитной энергии в многомасштабных динамических процессах в горячей бесстолкновительной плазме

Григоренко Елена Евгеньевна, ведущий научный сотрудник, д.ф.-м.н., ИКИ РАН, тел. (495)3331467, e-mail: elenagrigenko2003@yandex.ru

Царева О.О., Леоненко М.В., Зеленый Л.М., Малова Х.В., Попов В.Ю. (ИКИ РАН), Фу Х. (Beihang University, Beijing, China)

Трансформация магнитной энергии в кинетическую энергию горячей плазмы при пересоединении на макромасштабах довольно хорошо изучена как теоретически, так и с помощью спутниковых наблюдений, но вопрос о механизмах дальнейшей перекачки энергии ведущих к термализации плазмы остается открытым. Мы впервые на большой статистике наблюдений спутниками MMS в Плазменном Слое (ПС) геомагнитного хвоста показали, что крупномасштабное пересоединение порождает множественные вторичные микропересоединения, происходящие на электронных кинетических масштабах на значительных расстояниях от «материнского» пересоединения. Это происходит следующим образом: в результате первичного крупномасштабного пересоединения образуются магнитные острова, которые являются частью магнитной структуры ускоренных пересоединением плазменных джетов. Эволюция этих структур в процессе их распространения в ПС приводит к генерации индукционных электрических полей, которые ускоряют электронные пучки до сверхтепловых энергий. Эти пучки, в свою очередь, генерируют интенсивные Сверхтонкие Токовые Слои (СТС) (Рисунок 1). Ток в СТС переносят размагниченные (почти свободно двигающиеся) электроны, которые делают их неустойчивыми по отношению к возбуждению быстрой (~ неск. сек.) коротковолновой (несколько тысяч км.) электронной тиринг-моды. В результате возникает вторичное микропересоединение, вызывающее фрагментацию родительского острова на более мелкие острова и ускорение новых электронных пучков. Этот процесс носит каскадный характер, так как может неоднократно повторяться. В результате множественные микропересоединения с формированием «вторичных» сепаратрис наблюдаются на значительных расстояниях от первичного макро-пересоединения (Рисунок 2).

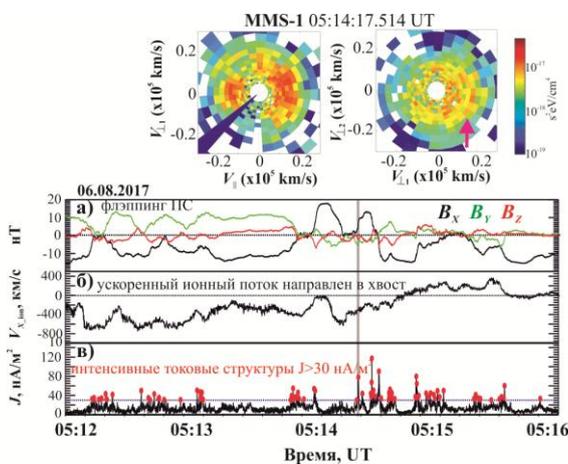


Рисунок 1 Пример наблюдения множественных СТС в ПС во время распространения быстрого потока. Сверху вниз: 2D срезы функций распределения электронов по скоростям в плоскости (V_{PAR}, V_{PER1}) (слева) (V_{PER1}, V_{PER2}) (справа), измеренные спутником MMS-1 внутри СТС, отмеченного серой вертикальной линией. Три GSM-компоненты магнитного поля (а); X-компонента потоковой скорости ионов (б); абсолютная величина плотности тока J (в). Красными кружками отмечены СТС с $|J| \geq 30 \text{ нА/м}^2$.

Рисунок 2 Формирование интенсивных СТС и вторичных микропересоединений в возмущенном ПС хвоста.

Grigorenko, E. E., Leonenko, M. V., Malykhin, A. Y., Zelenyi, L. M., & Fu, H. S. (2024). Intense electric currents and energy conversion observed at electron scales in the plasma sheet during propagation of high-speed ion bulk flows.

Journal of Geophysical Research: Space Physics, 129, e2023JA032318.
<https://doi.org/10.1029/2023JA032318>

Tsareva, O. O., Leonenko, M. V., Grigorenko, E. E., Malova, H. V., Popov, V. Yu., & Zelenyi, L. M. (2024). Fast tearing mode driven by demagnetized electrons. Geophysical Research Letters, 51, e2023GL106867. <https://doi.org/10.1029/2024GL106867>.

Экспериментальный результат получен в рамках ПФНИ 2021-2030 "Плазма" раздел 2 "Экспериментальные исследования". Теоретический результат получен в рамках проекта РФФ № 23-12-00031.

Аэрозоли в атмосферах Марса и Венеры по данным российских приборов

М.С. Лугинин, А.А. Федорова, А.Ю. Трохимовский, Д.А. Беляев, Н.И. Игнатьев, ИКИ РАН; руководитель чл.-корр. РАН О.И. Кorableв

Аэрозоль влияет на тепловой баланс, динамику и химию атмосфер. Исследования Марса и Венеры позволяет провести аналогии с атмосферой Земли, где с аэрозолями связаны главные неопределенности теплового баланса. На Марсе, обратная корреляция между облаками и хлороводородом (HCl) стала подтверждением механизма поглощения HCl водяным льдом, работающего в атмосфере Земли (Рисунок) [1]. Обнаруженные конденсированные слои двуокиси углерода позволяют определить степень насыщения CO₂-атмосферы [2]. Во время глобальной пылевой бури пыль достигла 80 км, а в высоких широтах на 80-90 км образовались облака из водяного льда [3]. В надоблачной дымке Венеры (на высоте 81–100 км), которая ранее считалась одномодальной, обнаружены две моды частиц серной кислоты [4]. Результат получен по данным российских приборов на космических аппаратах «ЭкзоМарс-2016», «Марс-Экспресс» и «Венера-Экспресс».

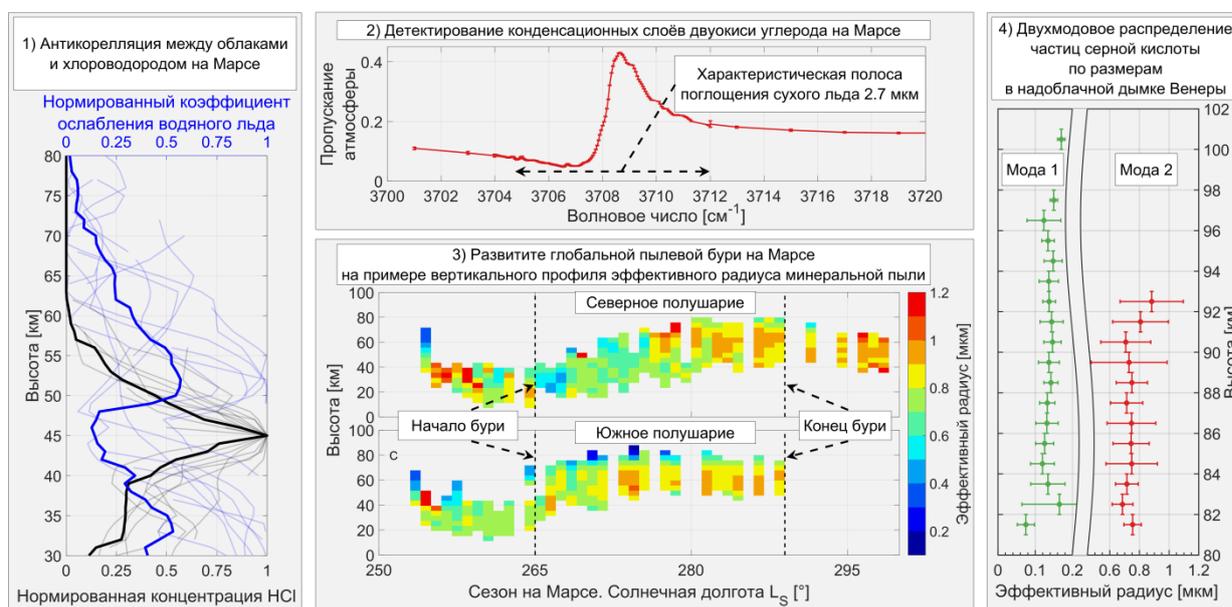


Рисунок. Марс: (1) Ослабление ледяными облаками и содержание HCl. (2) Полоса поглощения CO₂-льда в наблюдаемых спектрах. (3) Изменения размера частиц в течение пылевой бури. Венера: (4) Две моды частиц H₂SO₄, обнаруженные в верхнем облачном слое.

1. Luginin M., Trokhimovskiy A., Taysum B., et al. (2024). Evidence of rapid hydrogen chloride uptake on water ice in the atmosphere of Mars. *Icarus* 411, 115960. [10.1016/j.icarus.2024.115960](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2024.115960)
2. Luginin M., Trokhimovskiy A., Fedorova A., et al. (2024). Unambiguous detection of mesospheric CO₂ clouds on Mars using 2.7 μm absorption band from the ACS/TGO solar occultations. *Icarus* 423, 116271. [10.1016/j.icarus.2024.116271](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2024.116271)
3. Fedorova A., Korablev O.I., Montmessin F. et al. (2024). Distribution of atmospheric aerosols during the 2007 Mars dust storm (MY 28): Solar infrared occultation observations by SPICAM. *Icarus* 415, 116030. [10.1016/j.icarus.2024.116030](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2024.116030)
4. Luginin M., Fedorova A., Belyaev D., et al. (2024). Bimodal aerosol distribution in Venus' upper haze from joint SPICAV-UV and -IR observations on Venus Express. *Icarus* 409, 115866. [10.1016/j.icarus.2023.115866](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2023.115866)

Тема госзадания FFWG-2022-0007 ПЛАНЕТА per. №122042500017-2; грант РФФ 23-12-00207. Направление ПФНИ 2021–2030 1.3.7.5. Планеты и планетные системы

Водяной лед в полярных кратерах Луны: Анализ данных нейтронного телескопа ЛЕНД на борту лунного спутника НАСА ЛРО

Митрофанов И.Г.¹, Дьячкова М.В.¹, Литвак М.Л.¹✉ и Санин А.Б.¹

¹ Институт космических исследований РАН ✉ m.litvak@np.cosmos.ru, 8(495)333-15-22

Анализ данных измерений российского нейтронного телескопа ЛЕНД на борту лунного спутника НАСА *Lunar Reconnaissance Orbiter* позволил изучить особенности залегания водяного льда в лунных полярных кратерах. Показано [1], что в грунте полярного кратера Кабео с возрастом от 3.5 до 4.6 млрд. лет массовая доля льда увеличивается с глубиной, причем лед присутствует как в освещаемых Солнцем, так и в постоянно затененных участках поверхности (рисунок 1 слева). Данные наблюдений другого полярного кратера (126.59° з.д., 64.32° ю.ш.) с аналогичным возрастом 3.85 млрд. лет, названного в июне 2024 г. в честь академика РАН Э.М. Галимова показали противоположное свойство [2] - грунт на дне кратера не проявляет признаков водяного льда (рисунок 1 справа). При этом грунт в непосредственной окрестности кратера содержит водяной лед. Отсутствие льда в бассейне кратера вероятно связано с извержением горячей магмы, которое имело место в период от 0.2 до 1.0 млрд. лет тому назад. Таким образом, сравнение двух кратеров показало, что полярные ледники на Луне образовались в период от 3.85 млрд. до 1.0 млрд. лет тому назад.

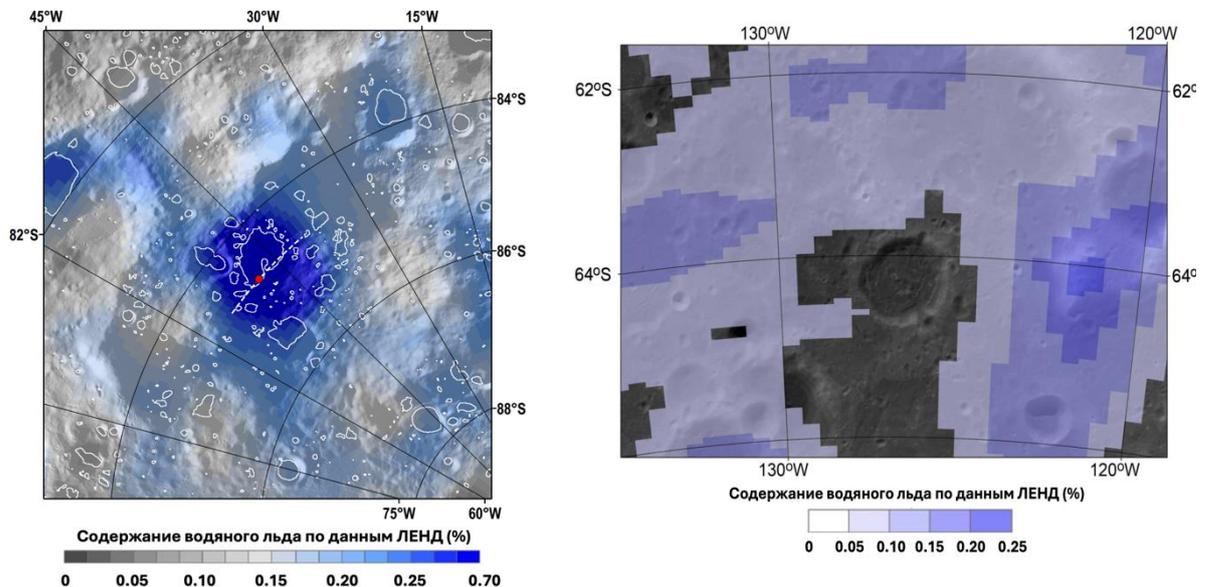


Рисунок 1. Представлены карты распределения подповерхностного водяного льда в кратере I (слева) и кратере Галимова (справа). На карте слева дополнительно показаны вечно затененные области (белые линии) и сечение самой крупной вечно затененной области внутри кратера I (пунктирная линия), проходящее через место падения КА НАСА LCROSS (красная точка).

1. M.L. Litvak, I.G. Mitrofanov *et al.*, *Subsurface Water Ice Content in the Cabeus Crater According to Measurements by the LEND Instrument onboard the NASA LRO Orbital Mission*, *Sol. Sys. Res.* 2024. 58. 6. 629-639

2. А.Б. Санин, И.Г. Митрофанов *et al.*, *Анализ концентраций водорода в тектонически деформированном ударном кратере в районе южного полюса Луны*, *Астрон. Вест.* 2024. 58. 1. 93-98

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Тема ОСВОЕНИЕ, № 122042500014-1. Направления ПФНИ: 1.3.3.7. Ядерно-физические методы в медицине, энергетике, материаловедении, биологии, экологии, системах безопасности и других областях; 1.3.7.5. Планеты и планетные системы.

Возникновение быстролетающих нейтронных звезд

Г. С. Бисноватый-Коган^{1*}, И. А. Кондратьев^{1**}, С.Г. Моисеенко^{1***}
(ИКИ РАН)

Одной из важных, но до конца нерешенных задач современной астрофизики является объяснение образования быстролетающих нейтронных звезд. На основе глобальной численной магнитогидродинамической модели коллапса ядра вращающейся замагниченной массивной звезды и магниторотационного (МР) взрыва сверхновой впервые установлено, что при нарушениях зеркальной симметрии магнитного поля ядра звезды различной природы возможно формирование струйных выбросов с существенной экваториальной асимметрией. В результате такого асимметричного МР взрыва сверхновой формируются направленные струйные выбросы (джеты) различной интенсивности и возникает эффект отдачи (“kick”) формирующейся нейтронной звезды (НЗ). Рассмотрены модели МР взрыва для начальных магнитных полей в форме композиции дипольного и квадрупольного поля, смещенного дипольного поля, а также дипольного и тороидального поля. Получено, что скорость НЗ может достигать значений до $v_{kick} = 500$ км/с. Данный результат согласуется с данными наблюдений. На Рисунке представлена эволюция удельной энтропии асимметричных выбросов вещества во время взрыва сверхновой для звезды с композицией дипольного и квадрупольного магнитных полей.

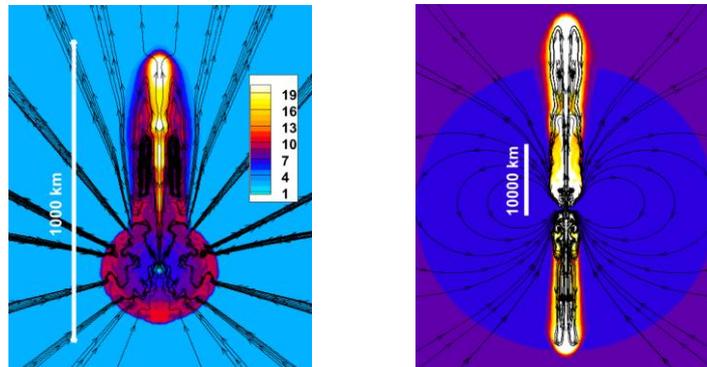


Рисунок: Распределение удельной энтропии вещества асимметричных выбросов (в единицах k_B/m_u) в моменты времени $t = 84$ мс (слева) и $t = 896$ мс (справа) после формирования НЗ. Левая панель соответствует ранней стадии, при которой формируется верхний струйный выброс; правая панель соответствует поздней стадии, при которой энергия взрыва и скорость НЗ достигают наблюдаемых значений. Черные стрелки соответствуют линиям магнитного поля.

Результаты опубликованы:

1. I.A.Kondratiev, S.G.Moiseenko, G.S.Bisnovaty-Kogan "Magnetorotational Supernova Explosions: Jets and Mirror Symmetry Violation", Lobachevskii Journal of Mathematics (Q2), 45, 50–59 (2024) <https://doi.org/10.1134/S1995080224010268>;
2. I.A.Kondratiev, S.G.Moiseenko, G.S.Bisnovaty-Kogan "Magnetorotational Neutron Star Kicks", Physical Review D (Q1), 110, 8, 083025 (2024) <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.110.083025>
3. I.A.Kondratiev, S.G.Moiseenko, G.S.Bisnovaty-Kogan "Asymmetric magnetorotational supernovae for various stellar masses", Fluid Dynamics (2024) (accepted)

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Тема ЗВЕЗДЫ, № 122042500015-8, грант РФФ 23-12-00198

Направление ПФНИ: 1.3.7.3. Физика звезд и компактных объектов

¹Институт космических исследований РАН

Email: *gkogan@cosmos.ru **mrkondratyev95@gmail.com, ***moiseenko@cosmos.ru

Оценка динамики зарастания лесной древесной растительностью болот России по данным спутникового мониторинга

Барталев С.А., Шинкаренко С.С., Егоров В.А., Лупян Е.А.,
Сайгин И.А., Стыценко Ф.В., Стыценко Е.А., Ховратович Т.С.

Руководитель – Барталев С.А., главный научный сотрудник, д.т.н., профессор
Институт космических исследований РАН, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

При оценке климаторегулирующего потенциала болот России последние прежде всего рассматриваются, как огромный резервуар органического углерода в почвенных горизонтах. Вместе с тем, произрастающая на болотах древесная растительность может вносить заметный вклад в поглощение углекислого газа, но в настоящее время слабо изучена. При этом результаты локальных наблюдений свидетельствуют о проявлении в некоторых регионах страны процессов зарастания лесной растительностью открытых участков болот, что может объясняться снижением уровня болотных вод в результате меняющегося климата. Важность системной оценки масштабов проявления данного природного феномена стимулирует исследования долгосрочной динамики древесного покрова болот на всей территории страны.

Основу исследования составили временные ряды ежегодных тематических карт, созданных в ИКИ РАН на территорию России по данным спутниковой системы дистанционного зондирования Земли MODIS, в том числе карты, характеризующие типы наземных экосистем, полноту лесной древесной растительности и лесистость территории. Упомянутые карты охватывают временной интервал 2001-2022 годов и дают уникальную возможность оценки многолетней динамики древесной растительности болот на всей территории страны.

По результатам мониторинга установлено, что динамика площади открытых болот страны характеризуется трендом сокращения на величину около $220 \text{ тыс. га} \times \text{год}^{-1}$, а в 2011-2022 годах величина указанного тренда составила $404 \text{ тыс. га} \times \text{год}^{-1}$. Покрытая лесами и редколесьями площадь болот выросла за данный период на 8.24 млн га, а средний годовой прирост площади покрытых лесом болот (с полнотой насаждений выше 0.25) характеризуется величиной около $430 \text{ тыс. га} \times \text{год}^{-1}$ (рисунок 1).

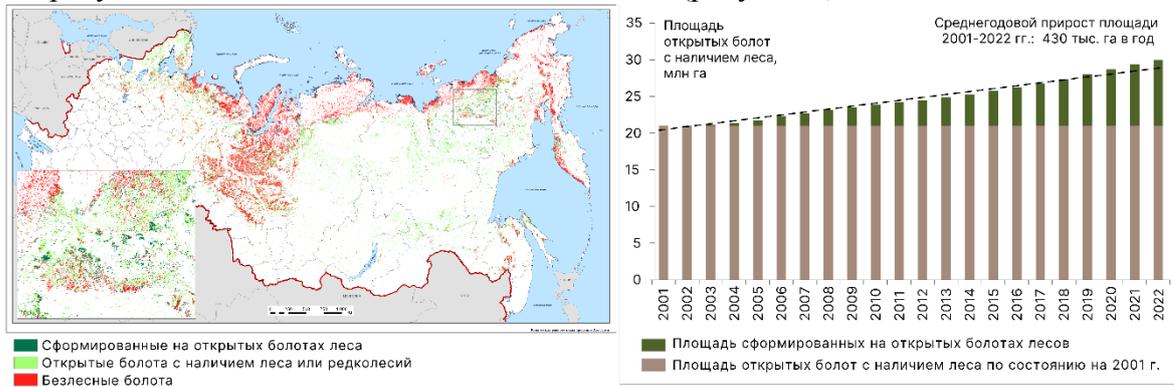


Рисунок 1. Заросшие в период 2001–2022 годов лесной древесной растительностью территории открытых болот России (слева) и ежегодная динамика их покрытой лесом площади (справа)

Публикация: Барталев С.А., Шинкаренко С.С., Егоров В.А., Лупян Е.А., Сайгин И.А., Стыценко Ф.В., Ховратович Т.С. Оценка динамики зарастания лесной древесной растительностью болот России по данным спутникового мониторинга // Известия РАН. Серия биологическая (статья принята к печати).

Исследование выполнено при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России: номер соглашения в ГИИС «Электронный бюджет» 075-15-2022-1229 «Применение технологий высокопроизводительных вычислений и больших данных для совместной разработки экономически эффективных автоматизированных методов широкомасштабного биомониторинга водно-болотных угодий».

Направления Программы фундаментальных научных исследований (ПФНИ) 2021-2030, в рамках которых получен результат:

- 1.1.7.6. Алгоритмы и программные системы в космическом мониторинге Земли и экологии
1.1.8.2. Алгоритмы и программные системы в космическом мониторинге Земли и экологии
1.4.3.2. Высокотехнологичные подходы и методы для мониторинга и контроля окружающей среды
1.6.2.7. Методология мониторинга естественных и антропогенных экосистем
1.6.3.11. Мониторинг биоразнообразия, региональные и национальные базы данных и сетевые информационные системы

Комплексное исследование ионосферных и метеорологических аномалий, связанных с землетрясением в Центральной Азии в январе 2024 г.

Лукьянова Рената Юрьевна, ведущий научный сотрудник, д.ф.-м.н., ИКИ РАН,
e-mail: renata_lukianova@mail.ru

Обнаружение аномальных изменений в атмосфере и ионосфере до и во время сильных землетрясений важно для разработки методов прогнозирования и раннего оповещения. 22 января 2024 г. вблизи границы Республики Казахстан произошло сильное землетрясение магнитудой $M = 7$. Анализ комплекса данных наблюдений показал, что это сейсмическое событие вызвало сложный отклик, элементы которого соответствуют концепции связи литосферы, атмосферы и ионосферы посредством электромагнитных процессов.

По измерениям группировки низкоорбитальных спутников Swarm выявлены специфические неоднородности плотности ионосферной плазмы над зоной главного толчка (рисунок). Локальная ко-сейсмическая аномалия обнаружена при спокойных геомагнитных условиях, но на фоне глобального увеличения плотности плазмы из-за солнечной вспышки и усиления потоков рентгеновского и протонного излучения, что вызвало общее повышение полного электронного содержания. В предложенном новом подходе для корректного выделения аномалии ко-сейсмического происхождения на фоне внутри-ионосферной изменчивости мы использовали разницу между наблюдениями тандема близколетающих спутников Swarm. Это позволило избежать явного вычитания переменного фонового поля, зависимость которого от условий космической погоды может приводить к детектированию ложного сигнала. Ионосферная аномалия согласуется с возмущениями метеорологических параметров (атмосферный реанализ MERRA) в области землетрясения, а именно локальное падение влажности воздуха, усиление потока скрытого тепла и аэрозольной оптической толщины. Эти эффекты соответствуют последствиям эманации радона, связанного с сейсмическим событием.

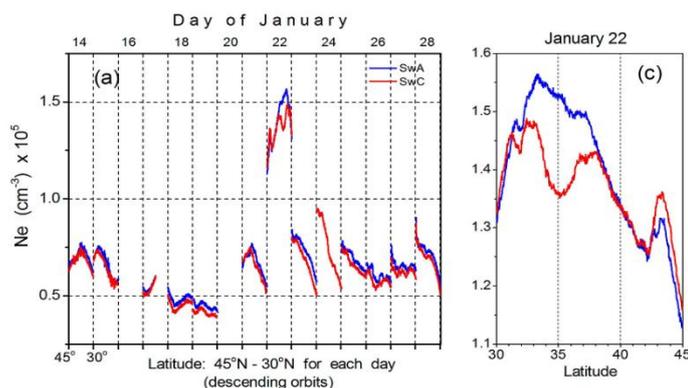


Рисунок. (а) Плотность плазмы вдоль траектории пролета тандема Swarm-A (синий) и Swarm-C (красный) над областью сейсмического события (30–45°N) 14–28 января (дни отделены вертикальной пунктирной линией); повышение на 10^5 см^{-3} 22 января вызвано солнечной вспышкой; (с) пролет 22 января и локальная ко-сейсмическая неоднородность.

Опубликовано: Lukianova R., Daurbayeva G., Siylkanova A. (2024). Ionospheric and meteorological anomalies associated with the earthquake in Central Asia on January 22, 2024 // *Remote Sensing*, 16(17), 3112; <https://doi.org/10.3390/rs16173112>.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Тема: Космос-Д № 122042500019-6 (ИКИ РАН); грант IRN-AP19677977 (МОН РК).

Обеспечение высокоточной геопривязки снимков ДЗЗ высокого разрешения с отечественных космических аппаратов

А.В. Филатов, И.И. Зинина (АО «Российский космический центр «Прогресс»), Р.В. Бессонов д.т.н, А.Н. Василейская (ИКИ РАН), В.И. Пошехонов к.т.н, О.А. Пресняков к.т.н. (Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина РГРТУ), Кисленко К.В. (АО «НПК СПП»)

При создании космических средств наблюдения Земли одной из важнейших характеристик является точность абсолютной геопривязки высокодетальных снимков без использования опорных точек. На основе доработки конструкции космических аппаратов, развития бортовой и наземной обработки данных впервые в России на шести космических аппаратах достигнута погрешность геопривязки 3 – 5 метров.

В части приборов звездной ориентации ИКИ РАН разработаны методы и алгоритмы, внедренные в потоковую наземную обработку данных, обеспечивающие высокоточную летную калибровку приборов по звездам, что позволило снизить случайную составляющую погрешности измерений параметров ориентации в 1,5 – 2 раза и довести ее до уровня одной угловой секунды и менее.

На базе информации Глобальной системы высокоточного определения навигационной и эфемеридно-временной информации (СВОЭВИ) для гражданских потребителей, созданной по заказу Госкорпорации «Роскосмос», АО «НПК «СПП» реализовало внедрение услуги высокой точности системы ГЛОНАСС для потребителей орбитального базирования. Внедрение данной услуги позволило при обработке данных бортовых приемников навигационного сигнала определять координаты центра масс космических аппаратов с погрешностями менее 0,5 м.

РГРТУ совместно с РКЦ «Прогресс» реализованы алгоритмы взаимной квазинепрерывной калибровки конструктивных углов между системами координат приборов звездной ориентации, гироскопов и съемочной аппаратуры, а также методы калибровки параметров внутреннего ориентирования съемочной аппаратуры.

Совокупность уточненных данных о координатах центра масс космического аппарата, об ориентации космического аппарата относительно звезд, о характеристиках конструкции отдельных систем, а также данных с бортовых гироскопов позволяет решить задачу геопривязки снимков Земли.



Рисунок. Космический аппарат Ресурс-П с приборами звездной ориентации ИКИ РАН и пример съемки ДЗЗ

По теме работы опубликована статья: Кузнецов А.Е., Рыжиков А.С., Пошехонов В.И. Алгоритмическое обеспечение комплекса создания опорных данных по спутниковым снимкам высокого пространственного разрешения. Цифровая обработка сигналов. 2024. № 3. С. 59–65

Работа выполнена в рамках темы «ВЕКТОР. Разработка перспективных бортовых систем и приборов и программно-аппаратных средств для проведения научных исследований и решения прикладных задач в космосе» (FFWG-2022-0011) по основному направлению «1.3 Физические науки» «Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период 2021-2030 гг.»