

# НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИКИ РАН, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ В РАМКАХ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ

2020 г.

## Открытие далеких рентгеновских квазаров с помощью телескопа eРОЗИТА обсерватории SRG

М.Р. Гильфанов, С.Ю. Сазонов, М.И. Бельведерский, В.Д. Борисов, Р.А. Буренин, И.А. Зазнобин, Р.А. Кривонос, А.Р. Ляпин, П.С. Медведев, А.В. Мещеряков, Г.А. Хорунжев,  
Р.А. Сюняев

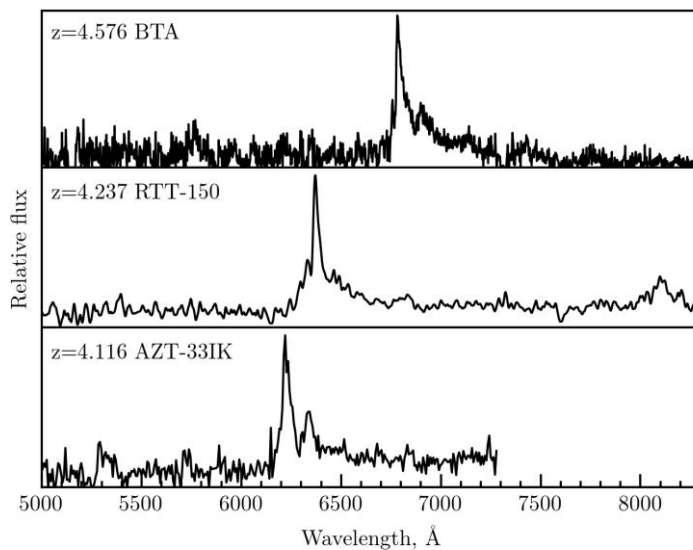
Рентгеновский обзор всего неба, проводимый с помощью телескопа eРОЗИТА обсерватории SRG, благодаря его охвату и глубине, впервые предоставил возможность провести широкомасштабный поиск мощных рентгеновских квазаров в молодой Вселенной. Две научные группы Российского консорциума SRG/eРОЗИТА, состоящие из ученых ИКИ РАН, решают эту задачу в рамках программы «Далекие и яркие квазары» (Distant and luminous quasars, DaLeQo1). Ее цель – создание статистически полной выборки рентгеновских квазаров большой светимости на  $z > 3$ . Исследования таких объектов крайне важны, т.к. данные о количестве активно растущих сверхмассивных черных дыр на больших красных смещениях позволяют сильно ограничить модели их образования и лучше понять, как происходила повторная ионизация вещества во Вселенной.

Кандидаты в далекие квазары отбираются среди источников, обнаруженных телескопом eРОЗИТА, по данным оптических и инфракрасных фотометрических обзоров, при помощи разработанной в коллективе системы классификации рентгеновских объектов SRGz. Для подтверждения природы, уточнения красных смещений и детального исследования (в частности, измерения масс сверхмассивных черных дыр) кандидатов в далекие квазары проводятся спектроскопические оптические наблюдения в сотрудничестве с учеными из ведущих российских обсерваторий. Эти наблюдения необходимы также для проверки и совершенствования системы SRGz.

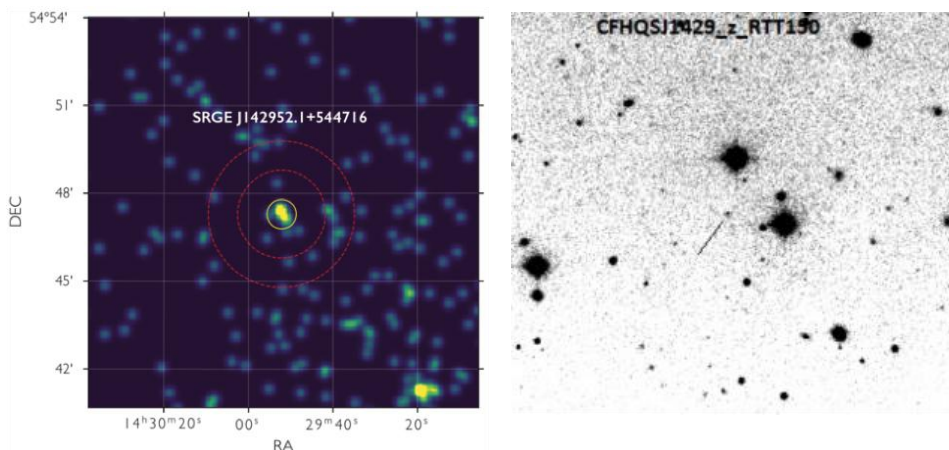
В работах 2–4 представлены первые результаты этой масштабной спектроскопической программы, проводимой на 1,5-метровом Российско-Турецком телескопе, 1,6-метровом телескопе АЗТ-33ИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН, 2,5-м телескопе Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ и 6-метровом телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН. В частности, сообщается об открытии нескольких квазаров на  $z > 4$ .

В работе 1 сообщается об открытии телескопом eРОЗИТА рентгеновского излучения от квазара на красном смещении  $z = 6.2$  (соответствует возрасту Вселенной около 900 миллионов лет!). Этот квазар ранее уже был известен по наблюдениям в видимом и радиодиапазонах, но рентгеновское излучение от него зарегистрировано впервые. По данным телескопа eРОЗИТА, рентгеновская светимость квазара составляет около  $3 \times 10^{46}$  эрг/с, что в несколько раз превышает предыдущий рекорд для квазаров на  $z > 6$ . Боллометрическая светимость квазара оказывается еще на порядок выше,  $\sim 3 \times 10^{47}$  эрг/с, а масса черной дыры в этом объекте, вероятно, превышает  $\sim 2 \times 10^9$  масс Солнца. Причем квазар является радиогромким. В статье высказана гипотеза, что его огромная рентгеновская светимость связана с обратным

комптоновским рассеянием реликтового излучения Вселенной в релятивистских джетах. Этот процесс должен быть особенно важен в ранней Вселенной, где плотность энергии реликтового излучения в тысячи раз выше, чем в современную эпоху.



*Оптические спектры трех квазаров на  $z>4$ , открытых в ходе рентгеновского обзора неба обсерватории СРГ. Эти объекты были найдены нейронной сетью SRGz среди полумиллиона источников, обнаруженных телескопом eРОЗИТА, и их природа была подтверждена с помощью наблюдений на телескопах БТА, РТТ-150 и АЗТ-33ИК.*



*Рентгеновское и оптическое изображения квазара на  $z=6,2$  по данным телескопа eРОЗИТА обсерватории СРГ (слева) и телескопа РТТ-150 (справа). Фотоны от квазара на этих изображениях были испущены 12,8 миллиарда лет назад при аккреции вещества на черную дыру с массой не менее 2 миллиардов масс Солнца.*

1. «SRG/eROSITA uncovers the most X-ray luminous quasar at  $z>6$ »  
Medvedev, P., Sazonov S., Gilfanov M., Burenin R., Khorunzhev G., Meshcheryakov A., Sunyaev R., Bikmaev I., Irtuganov E.  
*MNRAS* 497, 1842 (2020)

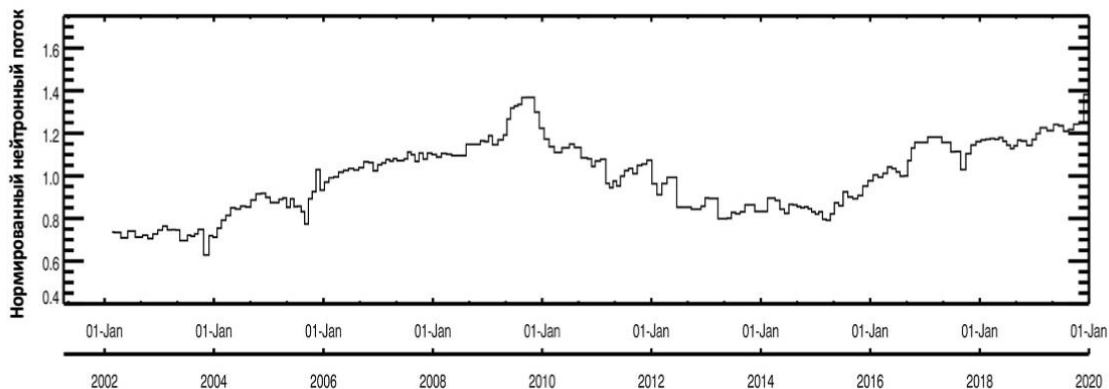
2. «Первые далекие рентгеновские квазары ( $z \sim 4$ ) среди источников, открытых телескопом eРОЗИТА орбитальной обсерватории SRG в ходе глубокого обзора области Дыры Локмана»  
Г.А. Хорунжев, А.В. Мещеряков, Р.А. Буренин, А.Р. Ляпин, П.С. Медведев, С.Ю. Сазонов, М.В. Еселевич, Р.А. Сюняев, М.Р. Гильфанов  
*Письма в Астрономический Журнал* 46, 155-162 (2020)
3. «Оптическая спектроскопия объектов SRG/eРОЗИТА на 2.5-м телескопе Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ»  
А.В. Додин, С.А. Потанин, Н.И. Шатский, А.А. Белинский, К.Е. Атапин, М.А. Бурлак, О.В. Егоров, А.М. Татарников, К.А. Постнов, М.И. Бельведерский, Р.А. Буренин, М.Р. Гильфанов, П.С. Медведев, А.В. Мещеряков, С.Ю. Сазонов, Г.А. Хорунжев, Р.А. Сюняев  
*Письма в Астрономический Журнал*, 46, 429-438 (2020)
4. «Спектроскопическое определение красных смещений выборки далеких квазаров обсерватории SRG по наблюдениям на РТТ-150. I»  
И.Ф. Бикмаев, Э.Н. Иртуганов, Н.А. Сахибуллин, Р.И. Гумеров, А.С. Складнов, М.В. Глушков, В.Д. Борисов, Р.А. Буренин, И.А. Зазнобин, Р.А. Кривонос, А.Р. Ляпин, П.С. Медведев, А.В. Мещеряков, С.Ю. Сазонов, Р.А. Сюняев, Г.А. Хорунжев, М.Р. Гильфанов  
*Письма в Астрономический Журнал*, 46, 689-701 (2020)

II. Физические науки, направление 16. Номер темы в системе «Парус»: 0028-2019-0014

## Мониторинг нейтронной компоненты радиационного фона на Марсе по данным российских приборов ХЕНД на спутнике «Марс Одиссей» и ДАН на марсоходе «Кьюриосити»

М.Л. Литвак, И.Г. Митрофанов, А.Б. Санин, Д. В. Головин, А.С. Козырев, Д. И. Лисов, А.В. Малахов, М. И. Мокроусов и С. Ю. Никифоров

Наряду с Луной, Марс рассматривается как следующий этап экспансии человека в космос, и поэтому космические агентства многих стран изучают концепции пилотируемых экспедиций к красной планете. Одним из основных рисков при планировании таких экспедиций является высокий уровень радиационного фона как во время перелета, так и на поверхности Марса. Важной составляющей радиационного фона является поток вторичных нейтронов, произведенных космическими лучами в веществе космического корабля на перелете, либо непосредственно в атмосфере и на поверхности после посадки на Марс. В представленной работе для оценки нейтронного фона использованы данные российских нейтронных детекторов ХЕНД и ДАН работающих на спутнике «Марс Одиссей» с 2002 г. и на марсоходе «Кьюриосити» с 2012 г. соответственно. Показано, что мощность нейтронной компоненты радиационной дозы в диапазоне энергий до 10–15 МэВ в среднем за солнечный цикл на поверхности и на орбите Марса может составлять 25 мкЗв/день и 8 мкЗв/день соответственно. Во время минимума солнечного цикла, когда поток галактических космических лучей максимален, эта величина может достигать ~50 мкЗв/день на поверхности.



**Рисунок.** Долгопериодические вариации нейтронного потока на околомарсианской орбите по данным российского прибора ХЕНД на борту спутника «Марс Одиссей».

**Публикация:** Litvak M.L. et al., (2020) Mars neutron radiation environment from HEND/Odyssey and DAN/MSL observations, Planetary and Space Science, 184, article id. 104866.

П. Физические науки, направление 16 Тема ОСВОЕНИЕ номер в системе «Парус» НИР и ГЗ: 0028-2018-0003 Гос. регистрация №: АААА-А18-118012290370-6

## Локализация космического гамма-всплеска GRB200415A

Д. Свинкин<sup>(1)</sup>, Д. Фрэдэрикс<sup>(1)</sup>, К. Орли<sup>(2)</sup>, Р. Аптекарь<sup>(1)</sup>, С. Голенецкий<sup>(1)</sup>, А. Лысенко<sup>(1)</sup>,  
А. Ридная<sup>(1)</sup>, А. Цветкова<sup>(1)</sup>, М. Уланов<sup>(1)</sup>, Т. Клайн<sup>(3)</sup>, И. Митрофанов<sup>(4)</sup>, Д. Головин<sup>(4)</sup>,  
А. Козырев<sup>(4)</sup>, М. Литвак<sup>(4)</sup>, А. Санин<sup>(4)</sup>, А. Гольдштейн<sup>(5)</sup>, М. Бригс<sup>(6)</sup>, К. Вильсон-Ходж<sup>(7)</sup>,  
А. фон Кинлин<sup>(8)</sup>, Х.-Л. Шанг<sup>(8)</sup>, А. Рау<sup>(8)</sup>, В. Савченко<sup>(9)</sup>, Э. Бозо<sup>(9)</sup>, К. Фэрригно<sup>(9)</sup>,  
П. Убертини<sup>(10)</sup>, А. Базано<sup>(10)</sup>, Д. Роди<sup>(10)</sup>, С. Бартельми<sup>(3)</sup>, Д. Кумингс<sup>(11)</sup>, Х. Крим<sup>(12)</sup>,  
Д. Пальмер<sup>(13)</sup>, В. Бойтон<sup>(14)</sup>, Ч. Фэлоус<sup>(14)</sup>, К. Харшман<sup>(14)</sup>, Г. Энос<sup>(14)</sup>, Р. Стар<sup>(15)</sup>.

1) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26, 194021.

2) Университет Калифорнии, Лаборатория космических исследований, 7 Gauss Way, Berkeley, CA 94720-7450, USA.

3) Центр космических полетов имени Годдарда, Greenbelt, Maryland, USA.

4) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Профсоюзная ул., д. 84/32, 117997.

5) Научно-технический институт, Ассоциация университетов космических исследований, Huntsville, AL 35805, USA.

6) Университет Алабамы в Хансвиле, Отдел космической физики, 320 Sparkman Drive, Huntsville, AL 35899, USA

7) Центр космических полётов имени Джорджа Маршалла, Huntsville, AL 35812, USA

8) Институт внеземной физики имени Макса Планка, Giessenbachstrasse 1, D-85748 Garching, Germany

9) Университет Женевы, отдел астрономии, chemin d'E'cogia 16, 1290, Versoix, Switzerland

10) Институт космической астрофизики и планетологии (INAF), Via Fosso del Cavaliere 100, Roma, Italy

11) Университет Джонса Хопкинса, Центр астрофизических наук, Baltimore, MD, USA

12) Национальный научный фонд, Alexandria, VA 22314, USA

13) Лос-Аламосская национальная лаборатория, B244, Los Alamos, NM 87545, USA

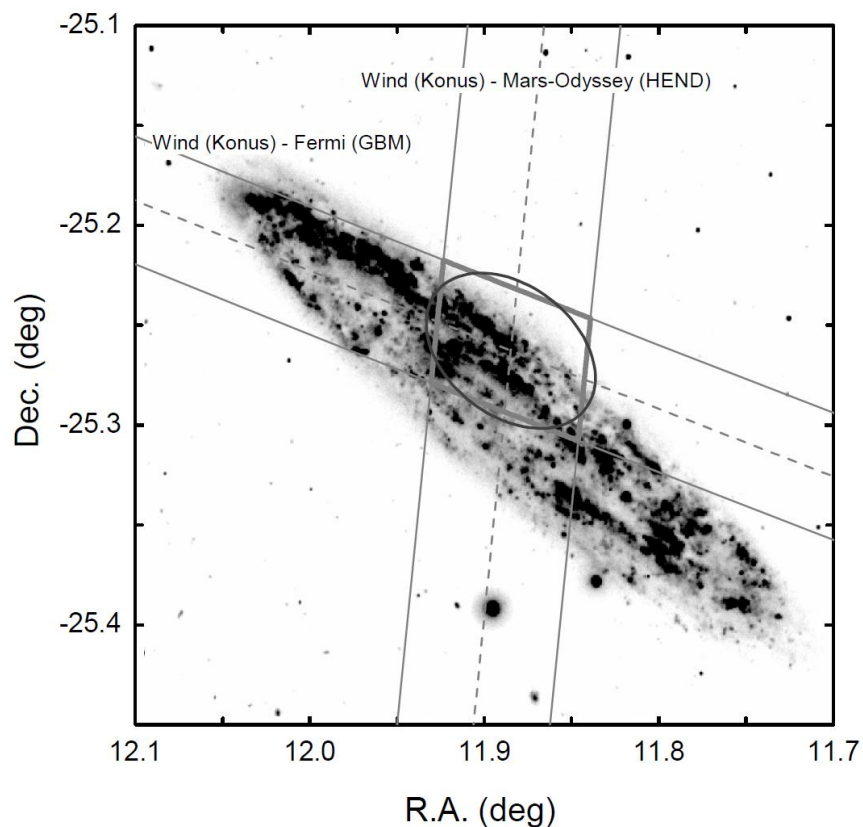
14) Университет Аризоны, Лаборатория лунных и планетных исследований, Tucson, AZ, USA

15) Католический университет Америки, Washington, DC 20064, USA

Одной из научных задач космического эксперимента ХЕНД на борту космического аппарата (КА) Марс Одиссей является изучение космических гамма-всплесков на основе данных временных профилей. Эксперимент ХЕНД является участником межпланетной сети по локализации источников космических гамма-всплесков на небе (InterPlanetary Network - IPN). Как известно, точность локализации методом межпланетной триангуляции обратно пропорциональна расстоянию между космическими аппаратами, совместно зарегистрировавшими гамма-всплеск, поэтому основное преимущество этого эксперимента - большая удаленность КА Марс Одиссей от Земли, которая позволяет локализовать источники космических гамма-всплесков с высокой точностью (до нескольких угловых минут).

15 апреля 2020 г. прибором ХЕНД был зарегистрирован гамма-всплеск GRB200415A, который впоследствии был локализован методом межпланетной триангуляции на основе данных приборов, установленных на КА Марс Одиссей, Винд и Ферми (см. Рисунок).

Область локализации источника этого гамма-всплеска накладывается на центральную часть близлежащей галактики NGC 253. Вероятность пространственного совпадения всплеска GRB200415A с ближайшей галактикой, составляет примерно 1 к 20000015. Источник гамма-всплеска GRB200415A отождествлён с магнитаром в галактике NGC 253.



**Рисунок.** Локализация гамма-всплеска GRB200415A межпланетной сетью (IPN), наложенная на изображение галактики NGC253. Локализация выполнена на основе данных космических аппаратов Винд-Одиссей (4,73 угловых минуты) и Винд-Ферми (3.58 угловых минуты).

**Публикация:** D. Svinkin et al., (2020), “A bright gamma-ray flare interpreted as a giant magnetar flare in NGC 253”, Nature, submitted.

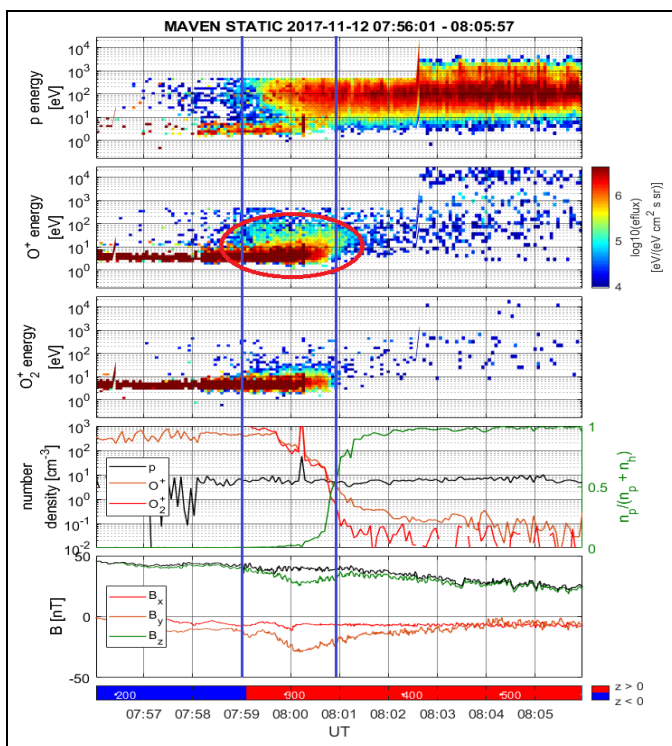
II. Физические науки, направление 16 Тема ОСВОЕНИЕ номер в системе «Парус» НИР и ГЗ: 0028-2018-0003 Гос. регистрация №: АААА-А18-118012290370-6

# Открытие дневной магнитосферы Марса

Вайсберг О.Л., Шувалов С.Д.

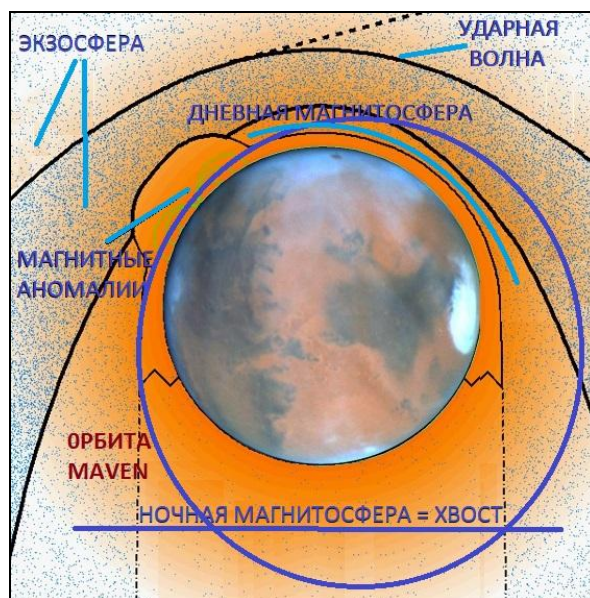
Горячая плазменная оболочка Марса была обнаружена на спутниках Марс-2,-3 и -5 в 1970-х гг. С 2014 г. искусственный спутник Марса MAVEN позволил детально исследовать эту оболочку. Было обнаружено постоянное существование тонкой, ~ 200-300 км, магнитно-плазменной оболочки, являющейся дневным продолжением магнитосферы Марса и влияющей на потери плазмы Марсом.

Дневная магнитосфера представляет собой промежуточный слой между внешним потоком горячей солнечной плазмы и холодной плазмой ионосферы внутри. Население магнитосферы состоит из двух компонентов: (1) разогретой и ускоренной плазмы ионосферы и (2) ионов экзосферы, ускоренных индукционным электрическим полем солнечного ветра. Эти ускоренные ионы экзосферы благодаря большому гирорадиусу свободно проникают в верхний слой ионосферы нагревают и ускоряют ионосферные ионы. Это новый процесс образования магнитосфер и установления их роли в последующих атмосферных потерях.



Верхние 3 панели – диаграммы время-энергия протонов,  $O^+$  и  $O_2^+$ .

Ионосфера (слева), магнитосфера (в овале, между вертикалями) и разогретый поток солнечного ветра (справа)..



Эллиптическая орбита спутника MAVEN и основные области плазменной оболочки Марса

Работа, опубликована в журнале ICARUS: O.L. Vaisberg, S.D. Shuvalov (2020). Properties and Sources of the Dayside Martian Magnetosphere, Icarus  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103520304334?via%3Dihub>  
<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2020.114085>

II. Физические науки, направление 16 Тема ПЛАЗМА номер в системе «Парус» НИР и ГЗ: 0028-2019-0017



# Колебания скорости зонального потока на верхней границе облачного слоя над Землей Афродиты

Пацаева М.В., Хатунцев И.В., Тюрин А.В., Засова Л.В.

Показано, что влияние рельефа Земли Афродиты на скорость зонального ветра на верхней границе облачного слоя Венеры проявляется в периодическом ускорении и замедлении горизонтального потока над горным массивом.

По изображениям камеры VMC/VEX (2006–2013 гг.) в УФ-диапазоне (365 нм) (Khatuntsev и др., 2013) был обнаружен практически монотонный рост усредненной за венерианский год (224 суток) скорости зонального потока ( $u$ ) с 85 до 115 м/с в экваториальной области за наблюдаемый период. По изображениям камеры UVI/Akatsuki в УФ, 365 нм, (2016–2018 гг.) наблюдаемый ранее по данным VMC рост скорости сменился постепенным снижением до 92 м/с в 2018 г. Данные восходящего (VMC) и нисходящего (UVI) участков тренда были разделены на условно «медленные» интервалы I и IV и «быстрые» II и III (рис. 1а.). Оказалось, что в рамках каждого из интервалов сохраняется корреляция скорости зонального ветра с высотой массива Земли Афродиты, с наиболее высокой областью Овда. Однако относительные изменения зональной скорости ветра над массивом имеют разный знак в зависимости от средней скорости потока  $u$  и составляют  $\pm 8\%$  (по VMC) и  $\pm 5\%$  (по UVI) в области Овда. На рис. 1б, показано сравнение зональной скорости ветра для интервалов I и II (синяя и красная кривые) с соответствующими кривыми средней зональной скорости. В области максимальной высоты рельефа (черная кривая) кривые синяя (I) и красная (II) показывают отклонение в противоположные стороны, так, что в случае интервала I наблюдается замедление зонального потока, в случае интервала II – ускорение (VMC). Аналогично для интервалов III и IV (UVI) (рис. 1с)

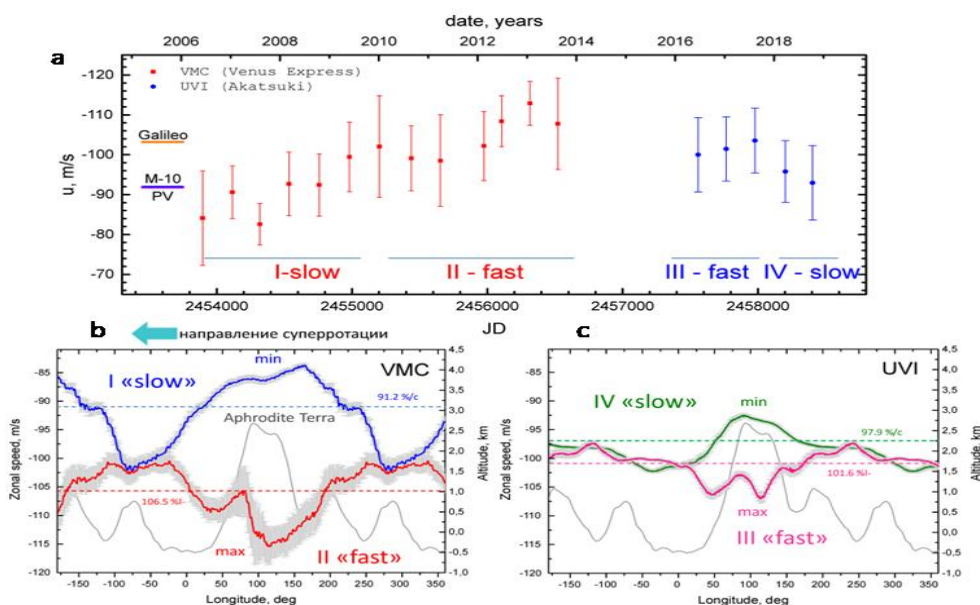


Рис.1. а) Долговременные измерения средней зональной скорости ветра на верхней границе облачного слоя для  $20 \pm 2.5^\circ$  ю.ш. по данным VMC (красные символы) и UVI (синие символы) в 2006–2018 гг. б) VMC: данные для интервала I (уменьшение скорости над Овдой, синяя кривая) и II (возрастание скорости, красная кривая). Средние значения скоростей отмечены пунктирными линиями. в) UVI: то же, для интервалов III (возрастание скорости) и IV (уменьшение скорости) по данным UVI Акацуки. Направление суперротации — справа-налево (зеленая стрелка на б)).



1. **Пацаева М.В.**, Хатунцев И.В., Тюрин А.В., Засова Л.В. Ветер на верхней границе облачного слоя по Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» / 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва. <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=174&thesis=8351>
2. **Patsaeva M.V.**, Khatuntsev I.V., Turin A. V., Zasova L.V. LONG-TERM VARIATIONS OF ZONAL WIND SPEED AT THE CLOUD TOP LEVEL OVER MISSION TIME FROM VMC/VENUS EXPRESS AND UVI/AKATSUKI UV IMAGES // The Eleventh Moscow international Solar System Symposium (11M-S<sup>3</sup>) / 5-9.10.2020, ИКИ РАН, Москва, Россия. 11MS3-VN-02, p.367. [https://ms2020.cosmos.ru/docs/Abstract\\_book\\_full\\_version\\_05.pdf](https://ms2020.cosmos.ru/docs/Abstract_book_full_version_05.pdf)

II. Физические науки, направление 16 Тема ВЕНЕРА-Д.Номер в системе «Парус» НИР и ГЗ: 0028-2019-0003


Эти результаты исследований утверждены Учёным советом 27 ноября 2020 г., протокол № 5.

Директор ИКИ РАН  
чл.-корр. РАН

Учёный секретарь ИКИ РАН  
к.ф.-м.н.



  
А.А. Петрукович

  
А.М. Садовский