

1) Авторы: **П. С. Медведев, Г. А. Хорунжев**

2) Название цикла:

**Открытие самых ярких рентгеновских квазаров в ранней Вселенной с помощью наблюдений телескопа SRG/eROSITA**

3) Работы цикла:

1. SRG/eROSITA uncovers the most X-ray luminous quasar at  $z > 6$   
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 497, Issue 2, pp.1842-1850, 2020

<https://academic.oup.com/mnras/article-abstract/497/2/1842/5880399?redirectedFrom=fulltext>

**Medvedev, P.**, Sazonov S., Gilfanov M., Burenin R., **Khorunzhev G.**, Meshcheryakov A., Sunyaev R.,  
Bikmaev I., Irtuganov E.

2. XMM-Newton observations of the extremely X-ray luminous quasar CFHQS J142952+544717=SRGE J142952.1 + 544716 at redshift  $z = 6.18$

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 504, Issue 1, pp.576-582, 2021

<https://academic.oup.com/mnras/article-abstract/504/1/576/6189715?redirectedFrom=fulltext>

**P. Medvedev**, M. Gilfanov, S. Sazonov, N. Schartel, R. Sunyaev

3. Первые далекие рентгеновские квазары  $z \sim 4$  среди источников, открытых телескопом eROSITA орбитальной обсерватории SRG в ходе глубокого обзора области Дыры Локмана.

Письма в астрономический журнал, №46, №3, 155, 2020

<https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1063773720030032>

**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

4. Открытие Самого мощного в рентгене квазара SRGEJ170245.3+130104 на красном смещении  $z=5.5$ ,

Письма в астрономический журнал, 47 №3, 155, 2021

<https://link.springer.com/article/10.1134/S1063773721030026>

**G. A. Khorunzhev**, A. V. Meshcheryakov, **P. S. Medvedev**, V. D. Borisov, R. A. Burenin, R. A. Krivonos, R. I. Uklein, E. S. Shablovinskaya, V. L. Afanasiev, S. N. Dodonov, R. A. Sunyaev, S. Yu. Sazonov & M. R. Gilfanov

4) Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность.

Обсерватория Спектр-РГ, запущенная 13 июля 2019 г., успешно работает на орбите вокруг точки Лагранжа L2 системы Земля-Солнце. Основная научная задача обсерватории – построение карт Вселенной в рентгеновском диапазоне электромагнитного излучения 0.2-11 кэВ с беспрецедентными спектральными и угловыми разрешениями. Такие карты неба, благодаря их охвату и глубине, впервые предоставляют возможность широкомасштабного поиска и детального исследования уникальнейших объектов во Вселенной, среди которых – далекие рентгеновские квазары большой светимости.

Благодаря появлению широкополосных оптических и инфракрасных обзоров в последнем десятилетии число найденных далеких квазаров на красных смещениях  $z > 5$  значительно возросло. Между тем основное энерговыделение таких источников должно приходиться на ультрафиолетовый и рентгеновский диапазоны длин волн, поэтому рентгеновские карты SRG/eROSITA обладают большим потенциалом для поиска новых далеких квазаров. По итогам трех обзоров телескоп SRG/eROSITA открыл на всем небе около 2 миллионов рентгеновских источников, большинством из которых являются активные ядра галактик. Поиск среди них далеких квазаров представляет собой сложную научную задачу, для решения которой необходимы современные математические методы и модели.

5) Конкретная решаемая в работе задача и ее значение.

Поиск далеких квазаров по рентгеновским картам неба телескопа СРГ/еРОЗИТА, отбор наиболее вероятных кандидатов по готовым вероятностным оценкам, проведение спектроскопических оптических наблюдений для подтверждения природы кандидатов и уточнения их красных смещений, а также дальнейшее детальное исследование подтвержденных объектов во всех диапазонах длин волн. Исследование таких объектов является важнейшей задачей современной астрофизики и наблюдательной космологии, т.к. данные о количестве сверхмассивных черных дыр (СМЧД) на  $z > 3$  сильно ограничивают возможные модели их образования. Кроме того, они помогают лучше понять, как происходила повторная ионизация вещества во Вселенной. Среди прочего исследование таких объектов позволяет получать уникальную информацию о формировании и росте первых СМЧД в ранней Вселенной.

#### б) Используемый подход, его новизна и оригинальность

Исследование далеких квазаров проводится в рамках программы DaLeQo1 (Distant and luminous quasars – Далекие и яркие квазары). Цель этой программы – создание статистически полной выборки рентгеновских квазаров большой светимости на красных смещениях  $z > 3$ . Кандидаты для программы DaLeQo1 отбираются среди источников, обнаруженных телескопом еРОЗИТА, при помощи системы классификации рентгеновских объектов □□□□. Эта система, основанная на методах машинного обучения, создана в рабочей группе по поиску рентгеновских источников, их отождествлению и составлению каталога по данным телескопа еРОЗИТА российского консорциума СРГ/еРОЗИТА.

#### 7) Полученные результаты и их значимость

По данным первого обзора всего неба телескопа СРГ/еРОЗИТА авторами представленного цикла было открыто рентгеновское излучение от двух квазаров в ранней Вселенной на красных смещениях  $z > 5$ : CFHQS J142952+544717 ( $z=6.18$ ) и SRGe J170245.3+130104 ( $z=5.47$ ). Второй из них, SRGe J17+13, был найден в слепом поиске при помощи построенных моделей оценки красного смещения. Дополнительные наблюдения, группой наземной поддержки СРГ при помощи 6-метрового телескопа БТА, подтвердили фотометрическую оценку красного смещения методом спектрального анализа оптического излучения квазара. Оказалось, что оба квазара обладают гигантской рентгеновской светимостью, в сотни раз превышающей светимости известных квазаров на красных смещениях  $z > 5$ . По заявке группы по составлению каталогов телескопа СРГ/еРОЗИТА были проведены дополнительные наблюдения квазара CFHQS J142952+544717 при помощи орбитальной обсерватории ХММ им. И. Ньютона. Авторы цикла работ произвели обработку и анализ полученных данных, что позволило определить рентгеновскую светимость квазара на уровне  $10^{46}$  эрг в секунду и оценить массу СМЧД на уровне  $> 2$  миллиардов масс Солнца, в то время как возраст Вселенной на таких красных смещениях составлял около 1 миллиарда лет. Вопрос о формировании черных дыр столь колоссальных масс за короткое по космологическим масштабам время является открытым в современной астрофизике.

Уникальность двух найденных квазаров может быть тесно связана со струйной активностью в этих системах. Оба квазара являются “радиогромкими”, то есть обладают мощным излучением в радиодиапазоне. Согласно современным представлениям, такое излучение должно генерироваться быстрыми заряженными частицами в джетах квазаров. Но в отличие от блазаров, высокая рентгеновская светимость двух найденных квазаров вероятно не может быть связана с релятивистскими эффектами доплеровского усиления сигнала. Авторы представленного цикла работ предполагают, что рекордная рентгеновская светимость этих квазаров может быть связана с обратным комптоновским рассеянием реликтового излучения Вселенной на релятивистском веществе джетов. Этот процесс особенно важен в ранней Вселенной, где плотность энергии реликтового излучения более чем на три порядка выше, чем вокруг современных нам объектов. Два открытых рентгеновских источника, возможно, являются представителями новой, ранее не изученной, популяции квазаров, с высокой радио и рентгеновской светимостями, существовавших в ранней Вселенной.