

ПЕРВЫЕ ДАЛЕКИЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ КВАЗАРЫ ($z \sim 4$) СРЕДИ ИСТОЧНИКОВ, ОТКРЫТЫХ ТЕЛЕСКОПОМ eРОЗИТА ОРБИТАЛЬНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ СРГ В ХОДЕ ГЛУБОКОГО ОБЗОРА ОБЛАСТИ ДЫРЫ ЛОКМАНА

© 2020 г. Г. А. Хорунжев^{1*}, А. В. Мещеряков^{1,2}, Р. А. Буренин¹, А. Р. Ляпин¹, П. С. Медведев¹, С. Ю. Сазонов¹, М. В. Еселевич³, Р. А. Сюняев^{1,4}, М. Р. Гильфанов^{1,4}

¹Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

²Казанский федеральный университет, Казань, Россия

³Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

⁴Институт астрофизики общества им. Макса Планка, Гархинг, Германия

Поступила в редакцию 02.02.2020 г.

После доработки 25.02.2020 г.; принята к публикации 25.02.2020 г.

В ходе глубокого обзора внегалактической области неба *Дыра Локмана* площадью 18.5 кв. град, проведенного во время перелета обсерватории СРГ в точку L2, телескоп eРОЗИТА зарегистрировал около семи тысяч рентгеновских источников. Эти объекты были затем предварительно отождествлены и классифицированы, используя общедоступные данные оптических и инфракрасных обзоров неба, с помощью разработанной для этой цели в ИКИ РАН системы машинного обучения SRGz. В результате был отобран ряд новых кандидатов в далекие квазары ($z \sim 4$). Проведенные на 1.6-метровом телескопе АЗТ-ЗЗИК Саянской обсерватории спектроскопические наблюдения первых двух кандидатов из этого списка подтвердили, что эти объекты действительно являются далекими квазарами на красных смещениях 3.878 и 4.116 и характеризуются высокой рентгеновской светимостью $\sim 10^{45}$ эрг/с (2–10 кэВ). Полученные результаты позволяют рассчитывать на обнаружение большого количества далеких квазаров в ходе начатого в декабре 2019 г. четырехлетнего обзора всего неба обсерватории СРГ.

Ключевые слова: активные ядра галактик, рентгеновские обзоры, фотометрические красные смещения, спектроскопия, XMM-Newton

DOI: 10.31857/S0320010820030031

ВВЕДЕНИЕ

Запущенная 13 июля 2019 г. рентгеновская обсерватория СРГ (Сюняев и др., 2020) успешно работает на орбите вокруг точки Лагранжа L2 системы Земля–Солнце. Основная цель обсерватории — обзор всего неба в широком диапазоне энергий 0.2–30 кэВ продолжительностью 4 года. В ходе обзора предполагается открыть около трех миллионов активных ядер галактик (АЯГ), в том числе далеких квазаров (Колодзиг и др., 2013a,b), около ста тысяч скоплений и групп галактик, а также сотни тысяч рентгеновских источников различной природы в нашей Галактике. Ожидается, что обзор неба обсерватории СРГ будет примерно в 25 раз чувствительней в мягком рентгеновском

диапазоне (0.5–2 кэВ) предыдущего обзора всего неба, который был проведен спутником ROSAT в начале 90-х годов XX века, и поможет решить ряд важнейших задач современной астрофизики и космологии. Одними из них являются измерение эволюции функции светимости АЯГ с красным смещением и восстановление истории роста сверхмассивных черных дыр во Вселенной.

Во время перелета обсерватории СРГ в точку Лагранжа L2 проводились включение и тестирование телескопов ART-XC и eРОЗИТА, после чего началась фаза калибровочных и проверочных наблюдений (Calibration and Performance Verification Phase, Cal/PV-фаза) различных объектов и участков неба, которая продлилась до 8 декабря 2019 г., когда начался обзор неба. Для проверочных наблюдений выбирались мишени, представляющие

*Электронный адрес: horge@iki.rssi.ru

самостоятельный научный интерес, а целью этих наблюдений являлись проверка функционирования научной аппаратуры в различных режимах в условиях реальных наблюдений, уточнение фактических характеристик телескопов, настройка и отладка математического обеспечения для обработки данных, а также получение оригинальных научных данных.

Одной из мишеней российской части PV-фазы телескопа ePOZITA был участок неба вокруг Дыры Локмана (Lockman Hole, LH) — области на небе, где поглощение межзвездного газа и пыли в нашей Галактике минимально (колонковая плотность атомов водорода на луче зрения $N_H \sim 5 \times 10^{19} \text{ см}^{-2}$). Это уникальный участок на небе — «окно» с максимальной прозрачностью для мягких рентгеновских лучей, сквозь которое мы можем наблюдать объекты за пределами нашей Галактики с минимальными искажениями в их спектре. В этой области газ и пыль нашей Галактики слабее всего поглощают мягкий рентген и меньше всего мешают обнаружению скоплений галактик и АЯГ.

Проведен глубокий рентгеновский обзор Дыры Локмана площадью 18.5 кв. град и чувствительностью $\sim 4 \times 10^{-15} \text{ эрг/с/см}^2$ в диапазоне 0.5–2 кэВ. Общая продолжительность обзора составила 180 000 с. Обзор обсерватории SRG стал самым большим по площади обзором области Дыры Локмана. Кроме того, это первый внегалактический рентгеновский обзор такой площади и чувствительности, данные которого полностью принадлежат российским ученым. На настоящий момент существует всего лишь один обзор с аналогичными характеристиками — это обзор ХММ-XXL (Пьерр и др., 2016; Менцель, 2016; Георгакакис и др., 2015) обсерватории ХММ-Newton, состоящий из двух площадок размером 25 кв. град каждая, расположенных в северном и южном полушариях: ХММ-XXL-North и ХММ-XXL-South. В обзоре ХММ-XXL удалось достигнуть высокой средней чувствительности $\sim 5 \times 10^{-15} \text{ эрг/с/см}^2$, но при этом потрачено в несколько раз больше времени, чем потребовалось телескопу ePOZITA на обзор сравнимой глубины и площади.

Одними из главных задач обзора Дыры Локмана являются создание статистически значимой выборки далеких рентгеновских квазаров с контролируемой полнотой и оценка их функции светимости с целью исследования истории роста сверхмассивных черных дыр в ранней Вселенной.

В данной статье представлены результаты первых спектроскопических наблюдений на телескопе АЗТ-3ЗИК Саянской обсерватории двух кандидатов в далекие рентгеновские квазары, открытых в ходе наблюдений Дыры Локмана телескопом ePOZITA обсерватории SRG. Поиск канди-

датов в далекие квазары в каталоге рентгеновских источников, зарегистрированных телескопом ePOZITA, осуществлялся системой оптического отождествления рентгеновских источников SRGz (Мещеряков и др., 2020). Система SRGz осуществляет автоматический поиск наиболее вероятного оптического партнера рентгеновского источника и его классификацию, а также определяет фотометрическое красное смещение объекта (в виде точечного прогноза и полного распределения вероятности) на основе фотометрических признаков оптических источников в обзорах неба с помощью методов машинного обучения. Система SRGz создана в рабочей группе по поиску рентгеновских источников, их отождествлению и составлению каталога по данным телескопа ePOZITA в отделе астрофизики высоких энергий ИКИ РАН в рамках подготовки к обзору всего неба обсерватории SRG.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ДАННЫЕ

Наблюдения Дыры Локмана проводились в режиме растрового сканирования. Этот режим имеет заметные преимущества по сравнению со стандартным для большинства современных рентгеновских обсерваторий мозаичным режимом наблюдения, при котором поле обзора покрывается отдельными точечными наведениями. Режим растрового сканирования позволяет получать рентгеновские изображения участков неба большой площади с примерно постоянными по изображению чувствительностью и функцией отклика на точечный источник.

Область покрытия обзора составила 5×3.7 кв. град с координатами центра $RA = 10\text{h}35'$ и $DEC = +57\text{d}38'$. Общая продолжительность обзора составила 180 кс, а среднее время экспозиции — около 8 кс. Это позволило достигнуть глубины по потоку около $4 \times 10^{-15} \text{ эрг/с/см}^2$ в диапазоне 0.5–2 кэВ. Регистрация источников проводилась с помощью программного обеспечения обработки данных рентгеновского телескопа ePOZITA. Всего было обнаружено около 6900 рентгеновских источников. Средняя поверхностная плотность на небе рентгеновских источников в обзоре составила примерно 370 ист./кв. град, что сравнимо с плотностью источников в известных рентгеновских обзорах обсерваторий Чандра и ХММ-Newton с близкими к обзору Дыры Локмана характеристиками: XVootes площадью 9.3 кв. град (Мюррей, 2005) и ХММ-XXL-North площадью 18.5 кв. град (Менцель, 2016). Примерно 20% площади обзора Дыры Локмана было ранее исследовано обсерваториями ROSAT, ХММ-Newton и Чандра.

Таблица 1. Рентгеновские свойства кандидатов в далекие квазары

Name	RA	DEC	POS_ERR	DET_LIKE	ML_FLUX
SRGe J104738.0+561019	161.90853	+56.17184	3.4	12.6	$(0.50 \pm 0.14) \times 10^{-14}$
SRGe J105028.2+554611	162.61743	+55.76975	4.2	7.2	$(0.42 \pm 0.16) \times 10^{-14}$

Примечание. Name — название рентгеновского источника, RA и DEC — координаты рентгеновского источника на эпоху J2000, POS_ERR — 1σ ошибка на положение рентгеновского источника, DET_LIKE — значение функции максимального правдоподобия детектирования источника, ML_FLUX — рентгеновский поток и соответствующая ошибка в диапазоне 0.5–2 кэВ в единицах эрг/с/см².

ОТБОР ОПТИЧЕСКИХ КАНДИДАТОВ

Мы провели кросс-корреляцию в радиусе 10 угл. сек для всех рентгеновских источников SRG/ePOZITA из обзора Дыры Локмана с каталогом оптических источников SDSS DR14 (Аболфати и др., 2018), имеющих принудительную фотометрию WISE (Лэнг, 2016) в инфракрасном диапазоне. Радиус 10 угл. сек в ~ 2 раза превышает характерную ошибку локализации источников ePOZITY. Полученный фотометрический каталог оптических кандидатов рентгеновских источников был обработан системой SRGz версии 1.7, которая оперирует в области покрытия фотометрического обзора SDSS и анализирует данные широкополосной оптической (фильтры *u, g, r, i, z* SDSS) и инфракрасной (фильтры W1 и W2 WISE) фотометрии.

SRGz представляет собой набор программных компонент, последовательно решающих задачи автоматического поиска (кросс-отождествления) наиболее вероятного оптического компаньона рентгеновского источника, его классификации (по схеме звезда/квазар/галактика) и измерения фотометрического красного смещения (photo-z). SRGz построен на использовании ансамблевых древовидных алгоритмов машинного обучения (градиентный бустинг и случайный лес деревьев решений, см. Мещеряков и др. (2018)), которые обучаются на выборках квазаров, галактик и звезд из спектроскопического каталога (SDSS и других обзоров). Для обучения эмпирической модели кросс-отождествления используются выборки оптических источников в окрестности рентгеновских объектов из “случайного” обзора обсерватории XMM-Newton (XMM-Newton Serendipitous Source Catalog DR8, Розен и др. (2016)). Подробнее принципы работы системы SRGz и реализованные в ней алгоритмы будут представлены в отдельной статье (Мещеряков и др., 2020).

С помощью SRGz для всех оптических кандидатов была рассчитана вероятность ассоциации

с рентгеновским источником *match_p*, в которой учитывалась информация об ошибке положения рентгеновского объекта, плотности оптических источников в поле и фотометрических признаках оптического объекта. В качестве наиболее вероятного оптического компаньона для каждого рентгеновского источника отбирался оптический объект с максимальным значением *match_p*. Далее, были отсеяны все оптические объекты, имеющие класс “звезда” (*cph = STAR*), согласно фотометрическому классификатору SRGz. Наконец, мы отобрали объекты с измерением фотометрического красного смещения $z_{ph} > 3$ и достоверностью прогноза $zConf > 0.5$. Под достоверностью прогноза photo-z принималась величина *zConf*, которая рассчитывалась стандартным образом как интеграл плотности вероятности $P(z)$ в окрестности прогноза $z_{ph} \pm 0.06(1 + z_{ph})$.

В полученный таким образом список кандидатов в далекие квазары попали: 31 объект с ранее известным спектроскопическим красным смещением $z > 3$ и 20 источников, для которых ранее не было спектральных измерений. Для этих новых кандидатов в далекие квазары нами была начата программа спектроскопических наблюдений на оптических телескопах.

Для первых наблюдений на 1.6-м телескопе АЗТ-ЗЗИК Саянской обсерватории были отобраны два объекта: SRGe J104738.0+561019 и SRGe J105028.2+554611 (табл. 1). На рис. 1 представлены изображения возможных оптических компаньонов этих рентгеновских источников, взятые из архива обзора Pan-STARRS в фильтре *iPS*. Все эти оптические объекты регистрируются также и в обзоре SDSS. На рис. 2 показаны рентгеновские изображения участков неба размером 2×2 угл. мин вокруг источников SRGe J104738.0+561019 и SRGe J105028.2+554611.

В область локализации рентгеновского источника SRGe J104738.0+561019 попадает несколько оптических источников (табл. 2). Наиболее вероятный (согласно значению *match_p*) кандидат

Таблица 2. Свойства возможных оптических партнеров

Name SRGe	№	OBJID SDSS	RAopt	DECopt	sep	i'_{psf}	match_p	cph	z_{ph}	zConf
J104738.0+561019	1	1237657771787092008	161.90789	+56.17127	2.4	19.89	0.641	QSO	4.125	0.84
	2	1237657771787092007	161.91056	+56.17272	5.2	17.00	0.007			
	3	1237657771787092010	161.90568	+56.17394	9.5	22.59	0.025			
J105028.2+554611	1	1237657771250352523	162.61453	+55.76926	6.1	20.61	0.746	QSO	3.874	0.91

Примечание. Name SRGe — название рентгеновского источника, № — порядковый номер оптического источника на соответствующем изображении, OBJID SDSS — уникальный номер в фотометрическом каталоге SDSS DR14, RAopt и DECopt — координаты источника в фотометрическом каталоге SDSS, sep — угловое расстояние между положениями рентгеновского и оптического источников (угл. сек), i'_{psf} — видимая звездная величина в фильтре i' SDSS, match_p — вероятность того, что данный оптический источник является компаньоном рентгеновского источника, cph — фотометрический класс (QSO — квазар), z_{ph} — фотометрическое красное смещение, zConf — достоверность измерения z_{ph} .

(источник № 1, см. рис. 1), проходящий под номером OBJID 1237657771787092008 в каталоге SDSS, находится ближе других к центру локализации рентгеновского источника. Он классифицируется системой SRGz как квазар на $z_{ph} = 4.125$ с высокой достоверностью фотометрической оценки красного смещения $zConf = 0.84$. Отметим, что ранее этот объект уже рассматривался как кандидат в далекие квазары в каталоге Ричардс и др. (2015), причем тоже с $z_{ph} = 4.125$. Остальные оптические объекты, попадающие в область локализации, имеют на порядок меньшие значения match_p и находятся дальше от положения рентгеновского источника. Интересно, что оптический источник № 2 примерно в 14 раз ярче в оптике, чем источник № 1, но при этом имеет более низкую вероятность отождествления с рентгеновским источником и, кроме того, является звездой по классификации SRGz. Поиск по базе данных Vizier (Охзенбейн, 2000) подтвердил эту гипотезу: источник № 2 имеет значимый параллакс в астрометрическом каталоге GAIA DR2 и является звездой класса F9, согласно спектроскопическим данным проекта LAMOST (Баи и др., 2018).

В область локализации рентгеновского источника SRGe J105028.2+554611 попадает только один оптический источник (объект № 1, см. рис. 1 и табл. 2). Он же имеет максимальное значение вероятности отождествления с рентгеновским источником match_p. Полученная для него фотометрическая оценка красного смещения составляет $z_{ph} = 3.874$. Отметим, что этот оптический объект упоминается также в каталоге Ричардс и др. (2015), где для него приводится оценка $z_{ph} = 3.700$.

НАБЛЮДЕНИЯ НА АЗТ-ЗЗИК

Мы получили спектры обоих кандидатов в квазары на $z \sim 4$ на 1.6-м телескопе АЗТ-ЗЗИК (Камус и др., 2002), расположенном в Саянской солнечной обсерватории Института солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ССО ИСЗФ СО РАН). Телескоп входит в комплекс наземной поддержки рентгеновской обсерватории СРГ. В 2015 г. он был оборудован спектрографом низкого и среднего разрешения АДАМ (Афанасьев и др., 2016; Буренин и др., 2016). С помощью этого оборудования можно уверенно определять красные смещения квазаров с контрастными эмиссионными линиями ярче $i' < 21$ вплоть до красных смещений $z \sim 6$ (Буренин и др., 2016; Хорунжев и др., 2017, 2020).

Телескоп АЗТ-ЗЗИК имеет диаметр главного зеркала 1.6 метра. Спектрограф АДАМ изготовлен в Специальной астрофизической обсерватории (САО) по заказу ИКИ РАН при поддержке “Роскосмоса”. Основные конструктивные элементы спектрографа: ПЗС-матрица Andor Newton 920 с эффективностью около 90% в диапазоне от 4000 до 8500 Å и набор диспергирующих элементов (объемно-фазовых голографических решеток). Квантовая эффективность всей системы (зеркала телескопа, спектрограф, решетки и ПЗС-матрица) достигает 50% (Буренин и др., 2016).

Для описываемых наблюдений использовались щель шириной 2 угл. сек и решетка VPHG600G (диапазон 3700–7340 Å, разрешение 8.8 Å). Наблюдения проводились в темное время (фаза Луны меньше 0.3) и при средних величинах дрожания атмосферы меньше 2 угл. сек.

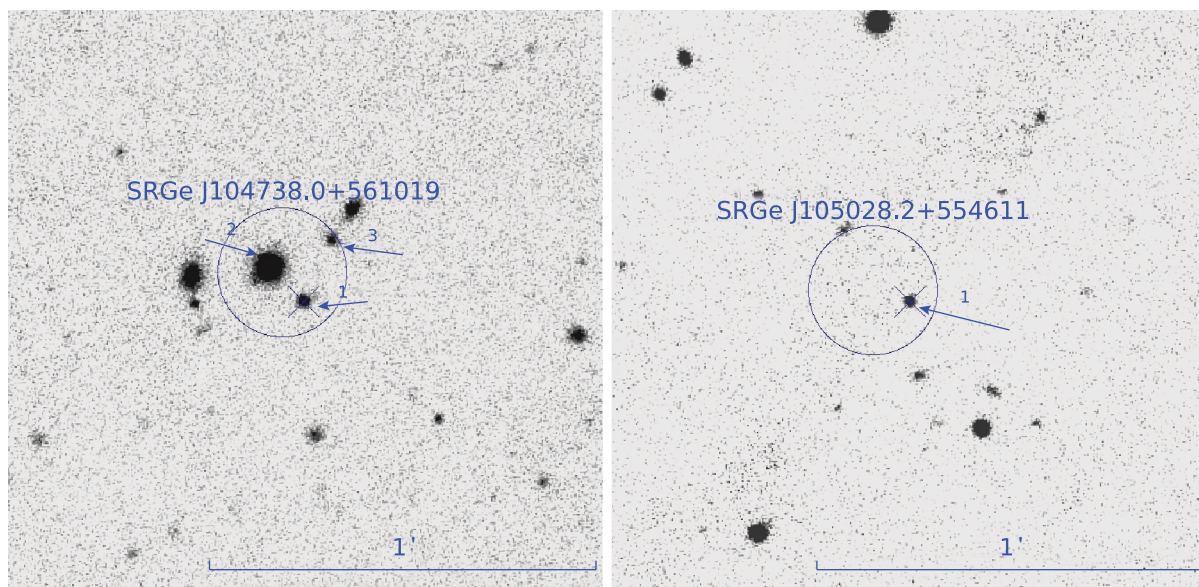


Рис. 1. Изображение в фильтре *iPS* Pan-STARRS возможных оптических компаньонов рентгеновских источников SRGe J104738.0+561019 и SRGe J105028.2+554611. Крестом отмечен наиболее вероятный оптический партнер для данного рентгеновского источника. Круг радиусом 10 угл. сек обозначает область гарантированной локализации рентгеновского источника. Для возможных оптических кандидатов за пределами этой области вероятность *match_p* меньше 0.001.

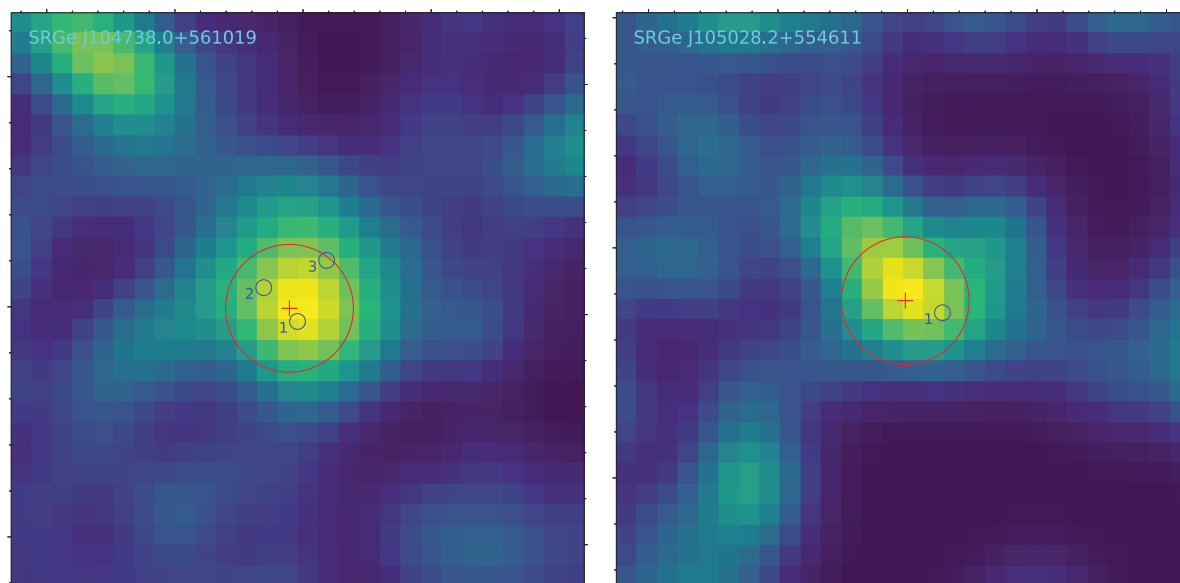


Рис. 2. Изображения источников SRGe J104738.0+561019 и SRGe J105028.2+554611 в рентгеновском диапазоне 0.5–2 кэВ. Размер изображений 1.5×1.5 угл. мин. Пронумерованными кружками помечены положения оптических источников из табл. 2. Красный круг имеет радиус 10 угл. сек.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные на АЗТ-ЗЗИК спектры предполагаемых оптических компаньонов — кандидатов в далекие квазары SRGe J104738.0+561019 и SRGe J105028.2+554611 — показаны на рис. 3.

Их обработка проводилась с помощью стандартного математического обеспечения IRAF¹. Спектральный поток поправлялся за щель. Форма

¹ <http://iraf.noao.edu>

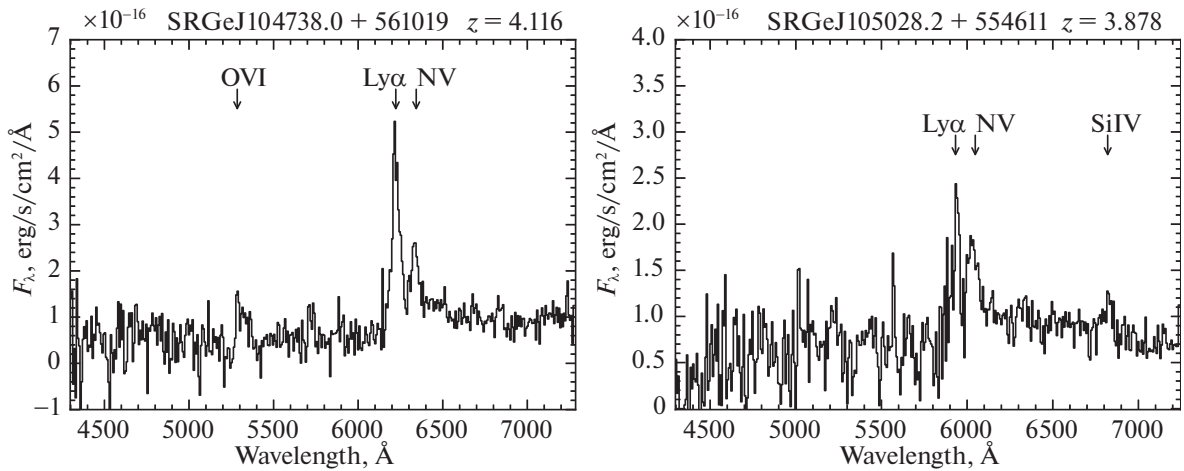


Рис. 3. Спектры квазаров СРГ/еРОЗИТА, полученные на телескопе АЗТ-ЗЗИК. Соседние спектральные каналы сгруппированы по два вдоль оси длин волн.

спектров исправлена с использованием наблюдений спектрофотометрических стандартов из списка (Массей и др., 1988).

$$SRGeJ104738.0 + 561019$$

В полученном спектре хорошо видны эмиссионные линии $Ly\alpha$ и [NV] (а также, возможно, линия [OVI]), по положению пиков которых уверенно определяется красное смещение объекта: $z_{\text{spec}} = 4.116 \pm 0.008$ (среднеарифметическое значение по указанным двум ярким линиям). Полученное значение прекрасно согласуется с фотометрической оценкой красного смещения ($z_{\text{ph}} = 4.125$), полученной с помощью системы SRGz.

$$SRGeJ105028.2 + 554611$$

Как и в предыдущем случае, в полученном спектре выделяются эмиссионные линии $Ly\alpha$ и [NV] (кроме того, есть указание на присутствие линии [SiIV]), по которым удалось надежно измерить красное смещение объекта: $z_{\text{spec}} = 3.878 \pm 0.009$. Это значение хорошо согласуется с нашей оценкой $z_{\text{ph}} = 3.874$. Отметим, что объект имеет видимую звездную величину $i'_{\text{psf}} = 20.61$. Получение спектра столь слабого источника является выдающейся задачей для телескопа 1.5-метрового класса.

Спектральные свойства и светимость квазаров

Таким образом, проведенные спектральные наблюдения подтвердили, что оба исследованных объекта являются далекими квазарами на $z \sim 4$. Измеренные красные смещения, а также потоки

в рентгеновском и оптическом диапазонах позволяют определить светимость этих объектов в соответствующих диапазонах.

Для расчета рентгеновских светимостей в диапазоне 2–10 кэВ в системе покоя источника L_x использовались следующие космологические параметры: 69.6 км/с/Мпк и $\Omega_M = 0.286$. Предполагалось, что рентгеновские спектры квазаров описываются степенным законом с наклоном $\Gamma = 1.8$. Кроме того, в тех же предположениях были рассчитаны рентгеновская ($L_{2\text{keV}}$) и оптическая ($L_{2500\text{Å}}$) монохроматические светимости. При расчете $L_{2500\text{Å}}$ дополнительно предполагалось, что оптический спектр может быть описан шаблоном среднего спектра квазаров Ванден Берк и др. (2001), нормировка которого определялась видимой звездной величиной в фильтре z' SDSS. Полученные значения светимостей приведены в табл. 3.

Оказалось, что отношение рентгеновской и оптической светимостей обоих квазаров попадает в типичный диапазон значений для квазаров и хорошо согласуется с известной зависимостью этого отношения от светимости, приведенной в статье Люссо и др. (2010).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Найдены первые далекие квазары среди рентгеновских источников, открытых телескопом еРОЗИТА орбитальной обсерватории СРГ в ходе глубокого обзора области Дыры Локмана. Проведена проверка системы отождествления, классификации и фотометрического определения красных смещений SRGz. Система SRGz создана

Таблица 3. Спектральные свойства обнаруженных квазаров

Name SRGe	OBJID SDSS	z'_{psf}	z_{spec}	DATE	EXP	FX/FO	LX	$L_{2\text{ keV}}$	$L_{2500\text{ \AA}}$
J104738.0+561019	1787092008	19.82	4.116 ± 0.008	05/12/2019	3600	0.27	0.97	27.02	31.28
J105028.2+554611	1250352523	20.32	3.878 ± 0.009	05/12/2019	7200	0.36	0.71	26.89	31.03

Примечание. Name SRGe — название рентгеновского источника, OBJID SDSS — уникальный номер оптического партнера в фотометрическом каталоге SDSS DR14, z'_{psf} — видимая *psf* звездная величина в фильтре z' SDSS, z_{spec} — измеренное спектроскопическое красное смещение и его ошибка, DATE — день/месяц/год наблюдения источника, EXP — общее время экспозиции в секундах, FX/FO — отношение наблюдаемых рентгеновского (0.5–2 кэВ) и оптического (z'_{psf} SDSS) потоков, LX — рентгеновская светимость $\times 10^{45}$ эрг/с в диапазоне 2–10 кэВ в системе покоя квазара, $L_{2\text{ keV}}$ — десятичный логарифм монохроматической рентгеновской светимости на энергии 2 кэВ в системе покоя квазара в эрг/с/Гц, $L_{2500\text{ \AA}}$ — десятичный логарифм монохроматической оптической светимости на длине волны 2500 Å

в рабочей группе по поиску и отождествлению рентгеновских источников и составлению каталогов по данным телескопа ePOZITA в отделе астрофизики высоких энергий ИКИ РАН. Первые спектральные наблюдения кандидатов в далекие рентгеновские квазары, открытых телескопом ePOZITA обсерватории СРГ, показали, что система SRGz правильно отождествляет такие объекты, а ее результаты по фотометрическому измерению красных смещений рентгеновских источников хорошо согласуются с результатами оптической спектроскопии. Оба исследованных объекта действительно оказались квазарами на $z \sim 4$.

Стоит отметить, что в недавно вышедший спектральный каталог SDSS DR16 (Ахумада, 2019), в область покрытия которого входит область Дыры Локмана, было включено несколько новых квазаров на $z > 3$. Однако в нем нет квазаров, обнаруженных в настоящей работе.

Спектроскопическая проверка кандидатов в далекие рентгеновские квазары СРГ будет продолжена на 6-м телескопе БТА, 1.6-м телескопе АЗТ-ЗЗИК и на 1.5-м Российско-Турецком телескопе РТТ-150. Программное обеспечение SRGz продолжает совершенствоваться и будет использовано для оптического отождествления источников, открываемых телескопами обсерватории СРГ в ходе обзора всего неба.

БЛАГОДАРНОСТИ

Наблюдения на АЗТ-ЗЗИК проведены с использованием оборудования Центра коллективного пользования “Ангара” <http://ckp-rf.ru/ckp/3056>. Работа оборудования телескопа АЗТ-ЗЗИК осуществляется в рамках базового финансирования программы ФНИ П.16.

При обработке данных телескопа ePOZITA обсерватории СРГ использовалось программное обеспечение, в частности eSASS, разработанное в институте внеземной физики общества им. Макса Планка (Германия).

Космический аппарат “Спектр-РГ” (СРГ) разработан в АО “НПО Лавочкина” (входит в Госкорпорацию “Роскосмос”). “Спектр-РГ” создан с участием Германии в рамках Федеральной космической программы России по заказу Российской академии наук. Оперативное управление КА “Спектр-РГ” осуществляется АО “НПО Лавочкина”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алам и др. (S. Alam, F. Albareti, C. Prieto, F. Anders, S. Anderson, B. Andrews, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **219**, 12 (2015).
2. Аболфати и др. (B. Abolfathi, D. Aguado, G. Aguilar, P. Allende, A. Almeida, T. Ananna, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **235**, 42 (2018).
3. Ахумада и др. (R. Ahumada, C. Allende, A. Almeida, F. Anders, A. Scott, B. Andrews, et al.), <https://arxiv.org/abs/1912.02905>
4. Афанасьев В., Додонов С., Амирханян В., Моисеев А. *Астрофизич. Бюлл. Астрофизич. Бюлл.* **71**, 514 (2016).
5. Бай (Y. Bai, J. Liu, J. Wicker, S. Wang, J. Guo, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **235**, 16 (2018).
6. Браун (A. Brown, A. Vallenari, T. Prusti, J. de Bruijne, C. Babusiaux, C. Bailer-Jones, et al.), *Astron. Astrophys.* **616**, 1 (2018).
7. Буренин и др. (P.A. Буренин, А.Л. Амвросов, М.В. Еселевич, В.М. Григорьев, В.А. Арефьев, В.С. Воробьев, и др.), *Письма в Астрон. журн.* **42**, 333, 2016. [R. A. Burenin, et al., *Astron. Lett.* **42**, 295 (2016)].
8. Ванден Берк и др. (D. Vanden Berk, G. Richards, A. Bauer, M. Strauss, D. Schneider, and T. Heckman). *Astron. J.* **122**, 549 (2001).

9. Георгакакис и др. (A. Georgakakis, J. Aird, J. Buchner, M. Salvato, M. Menzel, W. Brandt, et al.), *MNRAS*. **453**, 1946 (2015).
10. Камус С.Ф., Тергоев В.И., Папушев П.Г., Дружинин С.А., Караваев Ю.С., Палачев Ю.М., Денисенко С.А., Липин Н.А., *Оптический журн.* **69**, 84 (2002). [S.F. Kamus, S.A. Denisenko, N.A. Lipin, V.I. Tergoev, P.G. Pampushev, S.A. Druzhinin, Yu.S. Karavaev, Yu.M. Palachev, *J. Optical Technology* **69**, 674 (2002)].
11. Колодзиг и др. (A. Kolodzig, M. Gilfanov, R. Sunyaev, S. Sazonov, and M. Brusa), *Astron. Astrophys.* **558**, A89 (2013).
12. Колодзиг и др. (A. Kolodzig, M. Gilfanov, G. Huetsi, and R. Sunyaev), *Astron. Astrophys.* **558**, A90 (2013).
13. Лэнг (D. Lang) *Astron. J.* **147**, 108 (2014).
14. Лэнг и др. (D. Lang, D. Hogg, and D. Schlegel), *Astron. J.* **151**, 36 (2016).
15. Люссо и др. (E. Lusso, A. Comastri, C. Vignali, G. Zamorani, M. Brusa, R. Gilli, K. Iwasawa, M. Salvato, et al.), *Astron. Astrophys.* **512**, 34 (2010).
16. Массей и др. (P. Massey, K. Strobel, J. Barnes, and E. Anderson), *Astrophys. J.* **328**, 315 (1988).
17. Мейснер и др. (A. Meisner, D. Lang, and D. Schlegel), arXiv:1705.06746.
18. Менцель и др. (M. Menzel, A. Merloni, A. Georgakakis, M. Salvato, E. Aubourg, W. Brandt, et al.), *MNRAS*. **457**, 110 (2016).
19. Мерлони и др. (A. Merloni, P. Predehl, W. Becker, H. Bohringer, T. Boller, H. Brunner, et al.), *eROSITA Science Book*, (2014). <http://arxiv.org/pdf/1209.3114v2.pdf>
20. Мещеряков (А. Мещеряков), in preparation (2020).
21. Мещеряков А., Глазкова В., Герасимов С., Буренин Р., *Письма в Астрон. журн.* **41**, 339 (2015), [A. Mescheryakov, et al., *Astron. Lett.* **41**, 307 (2015)].
22. Мещеряков и др. (А. Мещеряков, В. Глазкова, С. Герасимов, И. Машечкин), *Письма в Астрон. журн.* **44**, 801 (2018). [A. Mescheryakov, et al., *Astron. Lett.* **44**, 735 (2018)].
23. Мюррей и др. [(S. Murray, A. Kenter, W. Forman, C. Jones, P. Green, C. Kochanek, et al.), *Astrophys. J.* **161**, 1 (2005)].
24. Охзенбейн и др. (F. Ochsenbein, P. Bauer, and J. Marcout), *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **143**, 23 (2000).
25. Павлинский и др. (M. Pavlinsky, V. Akimov, V. Levin, I. Lapshov, A. Tkachenko, N. Semena, et al.), *Proceedings of the SPIE* **8147**, 5 (2011).
26. Прусти и др. (T. Prusti, J. de Bruijne, A. Brown, A. Vallenari, C. Babusiaux, C. Bailer-Jones, et al.), *Astron. Astrophys.* **595**, 1 (2016).
27. Пьерр и др. (M. Pierre, F. Pacaud, C. Adami, S. Alis, B. Altieri, N. Baran, et al.), *Astron. Astrophys.* **592**, 1 (2016).
28. Райт и др. (E. Wright, P. Eisenhardt, A. Mainzer, M. Ressler, R. Cutri, T. Jarrett, et al.), *Astron. J.* **140**, 1868 (2010).
29. Розен и др. (S. Rosen, N. Webb, M. Watson, J. Ballet, D. Barret, V. Braitto, et al.), *Astron. Astrophys.* **590**, A1 (2016).
30. Ричардс и др. (G. Richards, A. Myers, C. Peters, C. Krawczyk, G. Chase, N. Ross, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **219**, 39 (2015).
31. Сюняев и др. (R. Sunyaev, et al.), готовится к печати (2020).
32. Хорунжев и др. (Г.А. Хорунжев, Р.А. Буренин, С.Ю. Сазонов, А.Л. Амвросов, М.В. Еселевич), *Письма в Астрон. журн.* **43**, 159 (2017). [G.A. Khorunzhev, et al., *Astron. Lett.* **43**, 135 (2017)].
33. Хорунжев и др. (Г.А. Хорунжев, Р.А. Буренин, С.Ю. Сазонов., И.А. Зазнобин, М.В. Еселевич), подана в печать (2020).