

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАСНЫХ СМЕЩЕНИЙ ВЫБОРКИ ДАЛЕКИХ КВАЗАРОВ ОБСЕРВАТОРИИ СРГ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА РТТ-150. II

© 2021 г. И. Ф. Бикмаев^{1,2*}, Э. Н. Иртуганов^{1,2}, Е. А. Николаева^{1,2}, Н. А. Сахибуллин^{1,2},
Р. И. Гумеров^{1,2}, А. С. Склянов^{1,2}, М. В. Глушков^{1,2}, И. М. Хамитов^{3,1}, В. Д. Борисов^{4,5},
Р. А. Буренин⁴, И. А. Зазнобин⁴, Р. А. Кривонос⁴, А. Р. Ляпин⁴, П. С. Медведев⁴,
А. В. Мещеряков^{4,1}, С. Ю. Сазонов⁴, Р. А. Сюняев^{4,6}, Г. А. Хорунжев⁴, М. Р. Гильфанов^{4,6}

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

²Академия наук РТ, Казань, Россия

³Государственная обсерватория ТУБИТАК, Анталья, Турция

⁴Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

⁵Факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁶Институт астрофизики общества им. Макса Планка, Гархинг, Германия

Поступила в редакцию 29.03.2021 г.

После доработки 30.03.2021 г.; принята к публикации 30.03.2021 г.

Приведены результаты спектроскопических наблюдений на 1.5-м Российско-Турецком телескопе очередной группы 12 рентгеновских источников, открытых телескопом eРОЗИТА космической обсерватории СРГ и идентифицированных системой машинного обучения SRGz в качестве кандидатов в далекие рентгеновские квазары. 10 объектов подтверждены как квазары на красных смещениях $z = 2.6 - 3.2$, а два источника оказались активными ядрами галактик (АЯГ) на красных смещениях $z = 0.42$ и $z = 1.02$.

Ключевые слова: квазары, активные ядра галактик, спектроскопия, СРГ, eРОЗИТА, РТТ-150.

DOI: 10.31857/S0320010821050028

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа является продолжением статьи (Бикмаев и др., 2020), в которой были приведены результаты первых спектроскопических определений красных смещений на 1.5-м Российско-Турецком телескопе (РТТ-150) для семи далеких рентгеновских квазаров, обнаруженных телескопом eРОЗИТА обсерватории “Спектр–Рентген–Гамма” (далее СРГ) в конце 2019–начале 2020 г. Рентгеновская обсерватория СРГ (Сюняев и др., 2021), запущенная 13 июля 2019 г., успешно работает на орбите вокруг точки Лагранжа L2 системы Солнце–Земля в режиме сканирования всего неба. Основная цель обсерватории — обзор всего неба в широком диапазоне энергий 0.3–30 кэВ продолжительностью 4 года. К середине декабря 2020 г. были завершены первые два обзора неба, в настоящее время продолжается третий

обзор. В состав обсерватории входят два рентгеновских телескопа с оптикой косоугольного падения: СРГ/eРОЗИТА, работающий в диапазоне 0.3–10 кэВ (Предел и др., 2021) и СРГ/АРТ-ХС им. М.Н. Павлинского, диапазон 5–30 кэВ (Павлинский и др., 2021). В результате первого обзора неба телескоп СРГ/eРОЗИТА зарегистрировал более миллиона рентгеновских источников, большинство из которых являются АЯГ и квазарами. Для идентификации, классификации и фотометрической оценки красных смещений объектов на основе имеющихся архивов обширных фотометрических и спектроскопических обзоров неба, таких как DESI Legacy Imaging Surveys (DESI LIS, Дей и др., 2019), Pan-STARRS (Чамберс и др., 2016), SDSS (Ахумада и др., 2020), BASS (Зоу и др., 2019), LAMOST (Яо и др., 2019), в рабочей группе по поиску рентгеновских источников, их отождествлению и составлению каталога по данным телескопа eРОЗИТА российского консорциума СРГ/eРОЗИТА создана система машинного

*Электронный адрес: ibikmaev@yandex.ru

Таблица 1. Рентгеновские свойства источников

№	Название	F_x 10^{-14} , эрг/с/см ²	δF_x 10^{-14} , эрг/с/см ²	C отсчеты	δC отсчеты	R_{98} угл. сек	R угл. сек
1	SRGe J150554.3+033356	10.28	1.73	42.4	7.2	5.5	4.3
2	SRGe J164156.3+625136	1.51	0.34	26.5	6.0	6.4	0.9
3	SRGe J164438.9+635932	1.35	0.33	24.2	6.0	6.8	1.6
4	SRGe J170939.1+612821	1.17	0.24	34.8	7.2	7.9	1.3
5	SRGe J172350.0+640905	0.76	0.17	35.4	7.9	7.3	4.2
6	SRGe J172545.3+632000	1.87	0.24	84.1	10.8	4.7	0.6
7	SRGe J173623.1+653639	0.90	0.14	63.2	10.0	5.4	1.1
8	SRGe J173630.8+642309	0.87	0.15	56.8	9.8	6.0	1.7
9	SRGe J174549.8+663115	0.88	0.13	85.5	12.3	5.9	1.1
10	SRGe J220203.3+703852	1.16	0.39	12.3	4.2	10.0	7.4
11	SRGe J225303.3+325244	7.03	1.73	21.2	5.2	6.9	2.6
12	SRGe J231133.4+295306	6.45	1.49	23.4	5.4	7.6	4.2

Примечание. F_x и δF_x — поток в диапазоне 0.3–2 кэВ и погрешность; C и δC — отсчеты от источника (за вычетом уровня фона) в диапазоне 0.3–2 кэВ и погрешность; R_{98} — радиус 98% круга ошибок рентгеновского источника; R — расстояние до оптического компаньона.

обучения SRGz (Мещеряков и др., 2021). Первыми результатами применения SRGz к данным ePO-ZITы стали списки кандидатов в далекие рентгеновские квазары ($z \gtrsim 3-4$), составленные по итогам проверочных наблюдений области Дыры Локмана и первого обзора неба обсерватории SRG. В результате первых спектроскопических наблюдений кандидатов, отобранных системой SRGz, была подтверждена природа далеких рентгеновских квазаров на $z \sim 4$, и исследованы более близкие квазары на $z \sim 1-3$, обнаруженные в поле Дыры Локмана. Оптическая спектроскопия этих источников производилась на 1.6-м телескопе АЗТ-33ИК Саянской обсерватории (Хорунжев и др., 2020), 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ (Додин и др., 2020) и 1.5-м Российско-Турецком телескопе РТТ-150 (Бикмаев и др., 2020).

В данной работе приводятся результаты оптической спектроскопии на 1.5-м Российско-Турецком телескопе РТТ-150 группы из 12 объектов из списков кандидатов в далекие квазары, полученных системой машинного обучения SRGz.

Наблюдения проводились в квоте времени Казанского федерального университета.

РЕНТГЕНОВСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ТЕЛЕСКОПА ePOЗИТА

Рентгеновские данные, представленные в данной статье, были получены телескопом SRG/ePOЗИТА по итогам первых двух обзоров неба, проведенных в период с декабря 2019 г. по декабрь 2020 г. Калибровка данных телескопа ePOЗИТА, создание карт неба, детектирование и характеристика источников производились при помощи программного обеспечения eSASS, разработанного германским консорциумом SRG/ePOЗИТА, и программного обеспечения, разработанного российским консорциумом SRG/ePOЗИТА. При обработке данных использовались результаты наземных предполетных калибровок, а также летных калибровочных наблюдений, выполненных в октябре–ноябре 2019 г.

Каталоги рентгеновских источников, зарегистрированных в ходе сканирования неба, кросс-коррелировались с набором фотометрических и спектроскопических каталогов и затем подавались на вход системы SRGz для отождествления, классификации и определения фотометрических красных смещений, как описано ранее в статьях (Мещеряков и др., 2018; Бикмаев и др., 2020).

Таблица 2. Фотометрическое красное смещение SRGz для оптических объектов со звездной величиной $r < 23.2$ (5σ чувствительность 3π обзора Рап-STARRS1 DR2) в области локализации $R < R_{98}$ для 12 рентгеновских источников СРГ/еРОЗИТА

№	Источник еРОЗИТА	Оптический кандидат					SRGz	
		$R, ''$	α_{opt}, deg	δ_{opt}, deg	r, mag	π_{EDR3}, mas	z_{ph}	$zConf$
1	SRGe J150554.3+033356	4.29	226.477275	3.566199	19.47	$-0.06^{\pm 0.57}$	$3.21^{+0.08}_{-0.27}$	0.73
2	SRGe J164156.3+625136	0.87	250.483983	62.859877	18.95	$0.05^{\pm 0.15}$	$3.14^{+0.10}_{-0.09}$	0.99
3	SRGe J164438.9+635932	1.58	251.163144	63.992046	20.14	$-0.39^{\pm 0.39}$	$3.07^{+0.09}_{-0.22}$	0.77
		5.27	251.159378	63.991429	20.46		$0.27^{+1.87}_{-0.14}$	0.13
4	SRGe J170939.1+612821	1.28	257.412458	61.472199	19.82	$-0.23^{\pm 0.30}$	$3.00^{+0.14}_{-0.08}$	0.95
5	SRGe J172350.0+640905	4.23	260.957655	64.150244	20.15	$0.56^{\pm 0.48}$	$3.03^{+0.06}_{-0.07}$	0.99
6	SRGe J172545.3+632000	0.56	261.438992	63.333250	20.58	$0.24^{\pm 0.49}$	$2.57^{+0.40}_{-0.70}$	0.38
7	SRGe J173623.1+653639	1.10	264.097096	65.610742	20.34	$0.01^{\pm 0.46}$	$2.54^{+0.24}_{-0.13}$	0.67
8	SRGe J173630.8+642309	1.74	264.127506	64.385642	18.80	$-0.12^{\pm 0.15}$	$3.19^{+0.056}_{-0.12}$	1.00
9	SRGe J174549.8+663115	1.09	266.456887	66.520726	19.86	$0.18^{\pm 0.28}$	$3.01^{+0.09}_{-0.17}$	0.86
10	SRGe J220203.3+703852	7.40	330.513486	70.649699	20.96	$-0.15^{\pm 1.05}$	$1.61^{+1.12}_{-0.87}$	0.15
		8.03	330.516545	70.649643	22.36		$0.81^{+0.43}_{-0.12}$	0.43
		9.54	330.510856	70.650138	19.22	$-0.14^{\pm 0.19}$	$2.14^{+0.43}_{-1.22}$	0.23
11	SRGe J225303.3+325244	2.62	343.263398	32.879694	17.62	$0.18^{\pm 0.09}$	$2.88^{+0.13}_{-0.08}$	0.92
12	SRGe J231133.4+295306	4.20	347.890402	29.884713	17.92	$0.14^{\pm 0.11}$	$3.10^{+0.10}_{-0.22}$	0.79

Примечание. Фотометрические измерения SRGz: z_{phot} — фотометрическая оценка красного смещения и соответствующая 1σ погрешность, $zConf$ — достоверность photo-z, характеризующая вероятность найти спектральное красное смещение в интервале $z_{ph} \pm 0.06 \times (1 + z_{ph})$. Измерение годичного параллакса — по данным GAIA EDR3. Звездные величины оптических кандидатов приведены по данным DESI LIS (за исключением № 10, для которого использован Рап-STARRS1). Жирным шрифтом отмечено фотометрическое красное смещение оптических кандидатов, для которых в дальнейшем проводились спектроскопические наблюдения.

Для всех рентгеновских источников из первого годового обзора еРОЗИТА были идентифицированы возможные оптические кандидаты в кружке $R < R_{98}$ (98% вероятности найти оптический компаньон для соответствующего рентгеновского объекта) и ярче 23.2 звездной величины в полосе r (5σ чувствительность 3π обзора Рап-STARRS1 DR2), и получены для них прогнозы фотометрических красных смещений при помощи SRGz.

Для данной работы были (случайно) отобраны 12 рентгеновских источников еРОЗИТА (их рентгеновские свойства описаны в табл. 1), имеющих в кружке $R < R_{98}$ оптический источник с фотометрическим красным смещением $z_{ph} > 2.0$ (см. табл. 2) и не являющийся звездой по данным GAIA EDR3. Достоверность измерения photo-z для всех

оптических кандидатов (кроме № 10) была высокой: $zConf > 0.65$ (табл. 2). За исключением рентгеновских источников № 3 и № 10, у всех остальных выбранных рентгеновских источников в радиусе $R < R_{98}$ имеется только 1 оптический компаньон. В случае рентгеновского объекта № 10 в его области локализации находятся 3 оптических источника с большой неопределенностью прогнозов photo-z ($zConf < 0.45$). Мы оставили данный источник в выборке в качестве примера похожих объектов, по которым SRGz не дает однозначной идентификации. Рентгеновские изображения телескопа еРОЗИТА указанных источников показаны на левых панелях рис. 1–12, а их оптическая локализация на изображениях из архива Рап-STARRS — на правых панелях рис. 1–12.

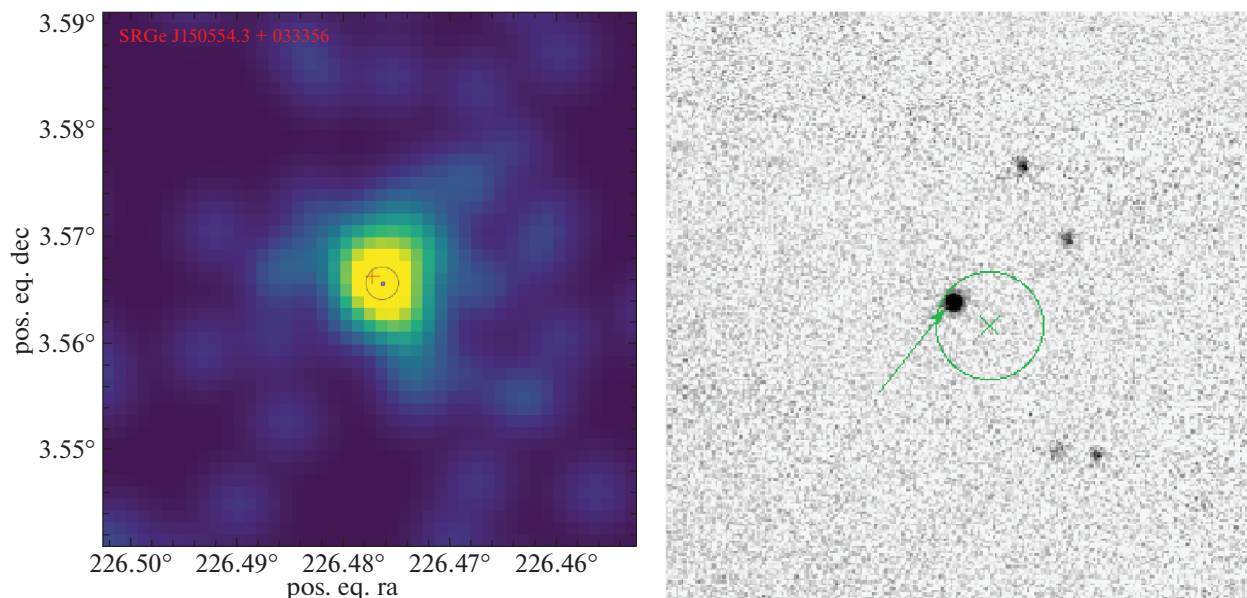


Рис. 1. Слева показано изображение источника SRGeJ150554.3+033356 в рентгеновском диапазоне 0.3–2.0 кэВ, справа — изображение его оптического компаньона в фильтре g из обзора Pan-STARRS. На левой панели маленьким кружком указано положение рентгеновского источника, красный крест показывает положение его оптического компаньона. На правой панели крестом указано положение рентгеновского источника, а стрелка указывает на положение его оптического компаньона. На обеих панелях центр окружности совпадает с положением рентгеновского источника, а ее радиус соответствует размеру области 98% ошибки на локализацию источника. Размер рентгеновского изображения составляет 3×3 угл. мин, оптического — 1×1 угл. мин.

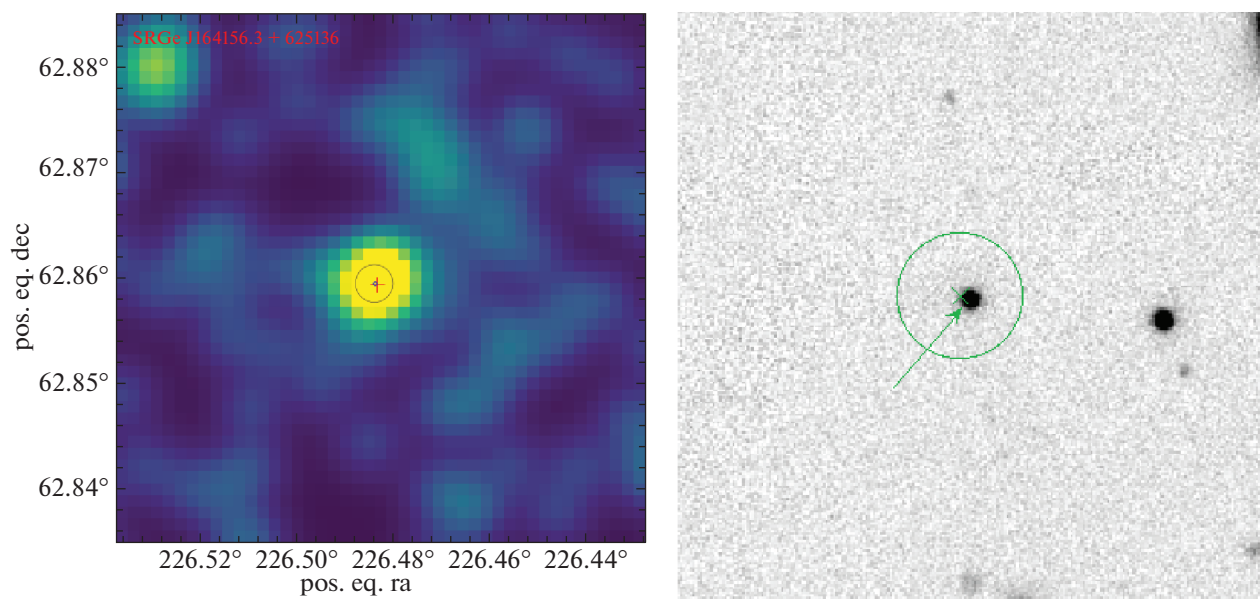


Рис. 2. То же, что на рис. 1, но для для источника SRGe J164156.3+625136.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ КАНДИДАТОВ В ДАЛЕКИЕ КВАЗАРЫ ИЗ ОБЗОРОВ SRG/eROZITA НА ТЕЛЕСКОПЕ РТТ-150

Спектроскопические наблюдения кандидатов в далекие рентгеновские квазары, зарегистрированных телескопом SRG/eROZITA и выявленных

с помощью системы SRGz, были выполнены на 1.5-м Российско-Турецком телескопе (РТТ-150) в квоте времени Казанского федерального университета в периоды, близкие к фазам новолуния, в июне–ноябре 2020 г.

В наблюдениях использовался прибор ТФОСК, оснащенный в 2019 г. новой высокочувствительной

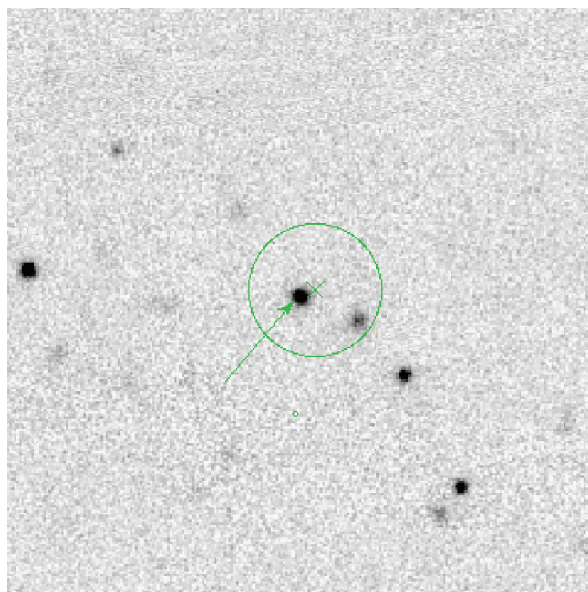
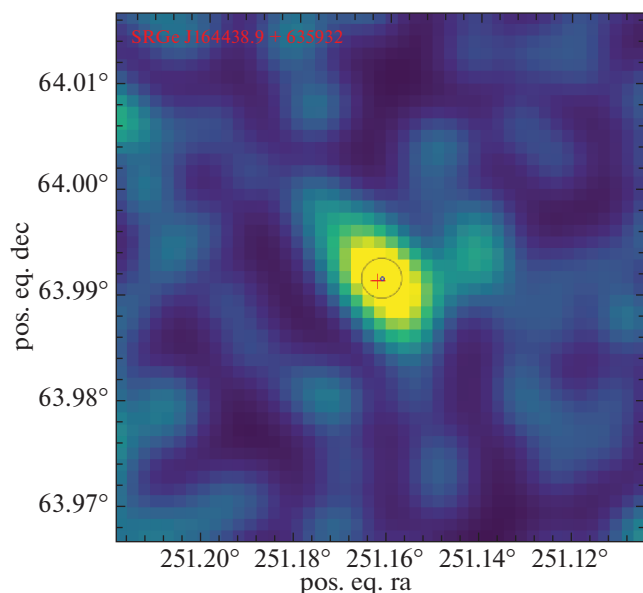


Рис. 3. То же, что на рис. 1, но для источника SRGe J164438.9+635932.

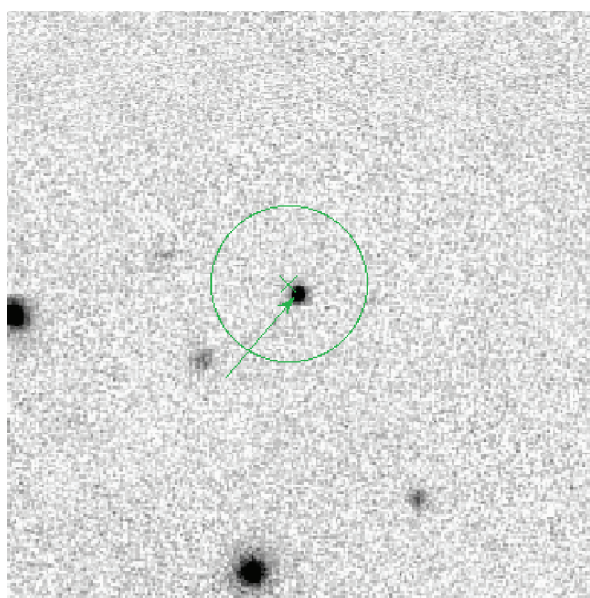
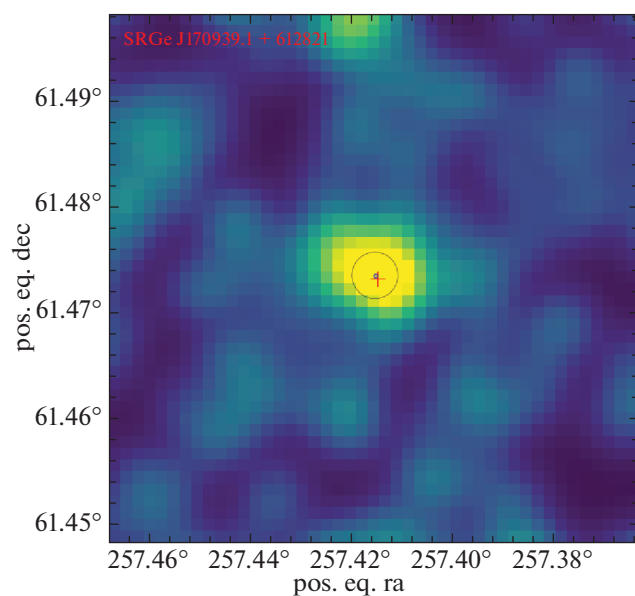


Рис. 4. То же, что на рис. 1, но для источника SRGe J170939.1+612821.

матрицей фирмы ANDOR (модель *DZ936N*) с чипом *BEX2 – DD*¹ формата 2048×2048 пикселей размером 13.5 мкм, с охлаждением -80°C . Использовалась гризма 15 с входной щелью 0.134 мм (2.4 угл. сек), позволяющая регистрировать спектр в диапазоне $\lambda 3800\text{--}8880 \text{ \AA}$ со спектральным разрешением 15 \AA . Для каждого объекта получалось в среднем по 3 спектра с экспозициями по 1800 с каждый. Детали наблюдений приведены в табл. 3.

¹ <https://andor.oxinst.com/products/ikon-x1-and-ikon-large-ccd-series/ikon-1-936>

Спектроскопическая обработка была выполнена с помощью пакета программ IRAF. Были проведены все необходимые процедуры обработки — вычитание тока смещения (байес), чистка спектральных изображений от следов космических частиц (использовался алгоритм LAcosmic (ван Доккум, 2001), построение дисперсионной кривой с использованием спектра лампы полого катода FeAg, экстрагирование одномерного спектра с параллельным вычитанием спектра фона неба. Отдельные спектры суммировались. Для увеличения отношения сигнал/шум суммарные спектры

Таблица 3. Журнал наблюдений и полученные спектроскопические красные смещения

N	Название	R.A.	Dec	Дата	t_{exp}	r	z_{sp}	Тип
1	SRGe J150554.3+033356	15 05 54.55	+03 33 58.3	20.06.2020	2×1800	19.47	1.02	AGN
				21.06.2020	2×1800			
2	SRGe J164156.3+625136	16 41 56.16	+62 51 35.6	20.06.2020	3×1800	18.95	3.15	QSO
3	SRGe J164438.9+635932	16 44 39.15	+63 59 31.4	21.06.2020	3×1800	20.14	2.97	QSO
4	SRGe J170939.1+612821	17 09 38.99	+61 28 19.9	11.07.2020	3×1800	19.82	3.01	QSO
5	SRGe J172350.0+640905	17 23 49.84	+64 09 00.9	10.07.2020	3×1800	20.15	2.99	QSO
6	SRGe J172545.3+632000	17 25 45.36	+63 19 59.7	12.07.2020	3×1800	20.58	2.78	QSO
7	SRGe J173623.1+653639	17 36 23.30	+65 36 38.7	22.06.2020	3×1800	20.34	2.61	QSO
8	SRGe J173630.8+642309	17 36 30.60	+64 23 08.3	20.06.2020	3×1800	18.80	3.14	QSO
9	SRGe J174549.8+663115	17 45 49.65	+66 31 14.6	24.06.2020	3×1800	19.86	3.02	QSO
10	SRGe J220203.3+703852	22 02 03.24	+70 38 58.9	21.11.2020	5×3600	20.96	0.00	Star
		22 02 04.05	+70 38 58.8	21.11.2020	5×3600	22.36	0.42	AGN
		22 02 02.60	+70 39 00.4	21.11.2020	5×3600	19.22	0.00	Star
11	SRGe J225303.3+325244	22 53 03.22	+32 52 46.9	22.06.2020	3×1800	17.62	2.93	QSO
12	SRGe J231133.4+295306	23 11 33.70	+29 53 05.0	12.07.2020	3×1800	17.92	3.12	QSO

Примечание. R.A., Dec — оптические координаты источника из каталога GAIA EDR3 (Gaia Collaboration, 2018); t_{exp} — количество и длительность экспозиций; r — звездная величина по данным DESI LIS (за исключением № 10, для которого использован Pap-STARRS1), z_{sp} — красное смещение, определенное по спектрам PTT-150; Тип — классификация объекта (квазар, AGN, звезда).

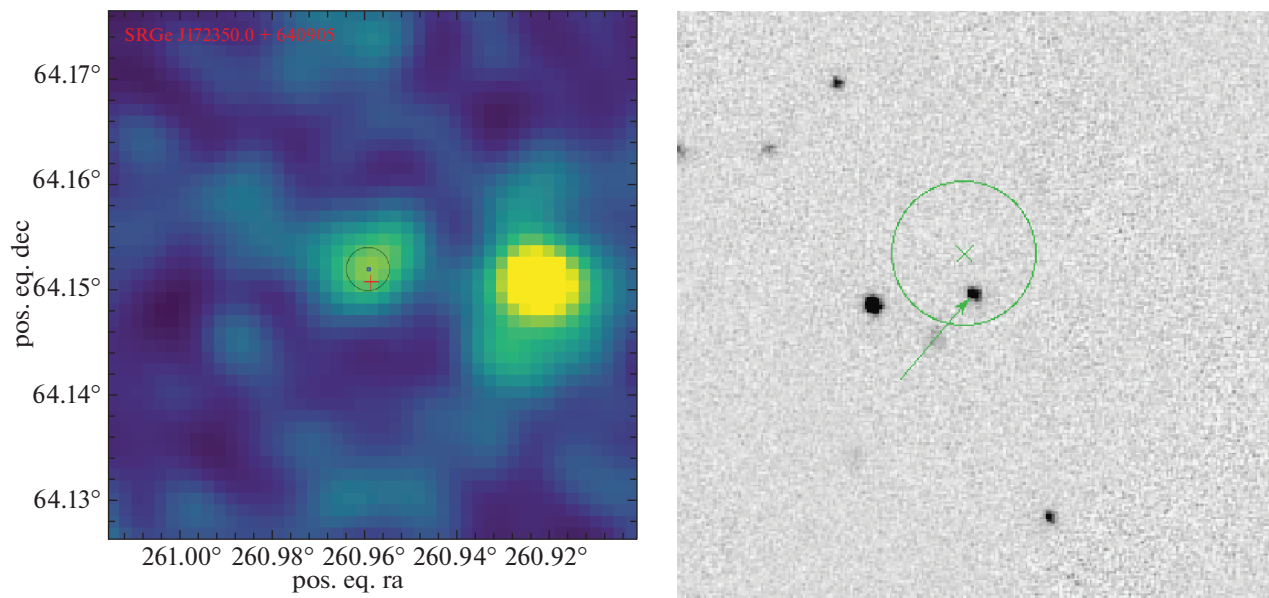


Рис. 5. То же, что на рис. 1, но для источника SRGe J172350.0+640905.

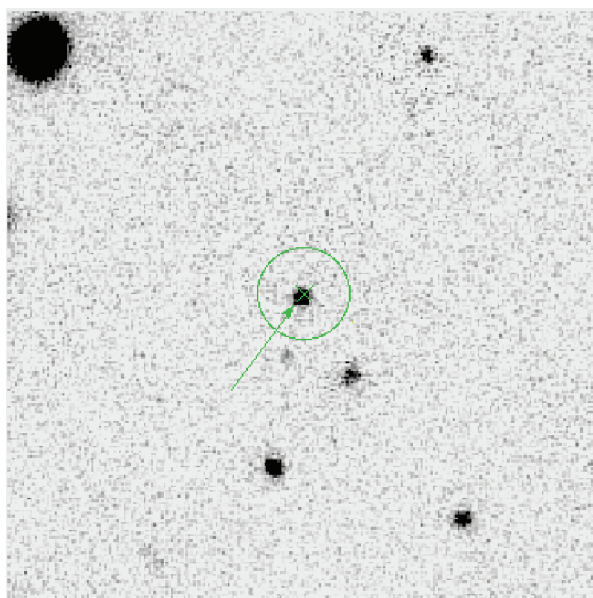
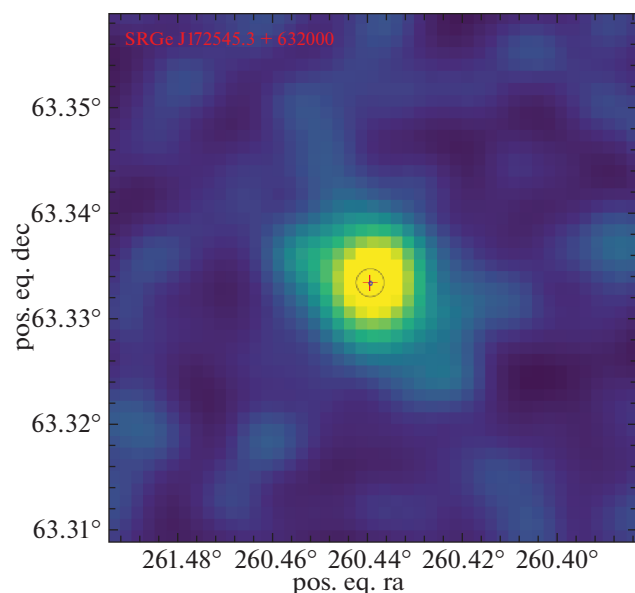


Рис. 6. То же, что на рис. 1, но для источника SRGe J172545.3+632000.

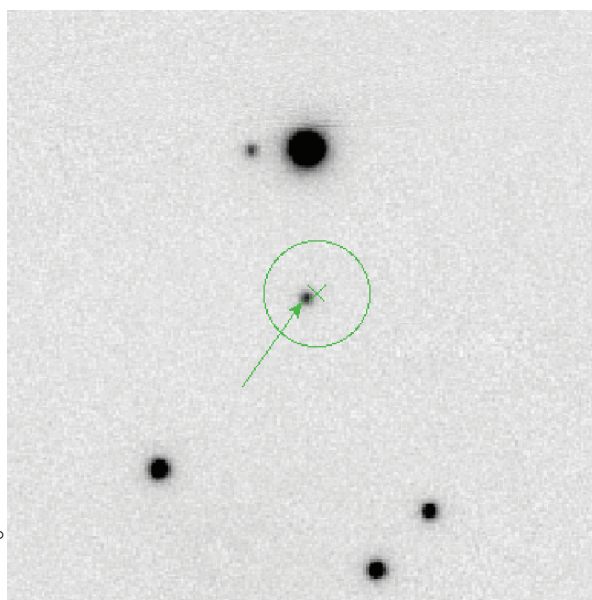
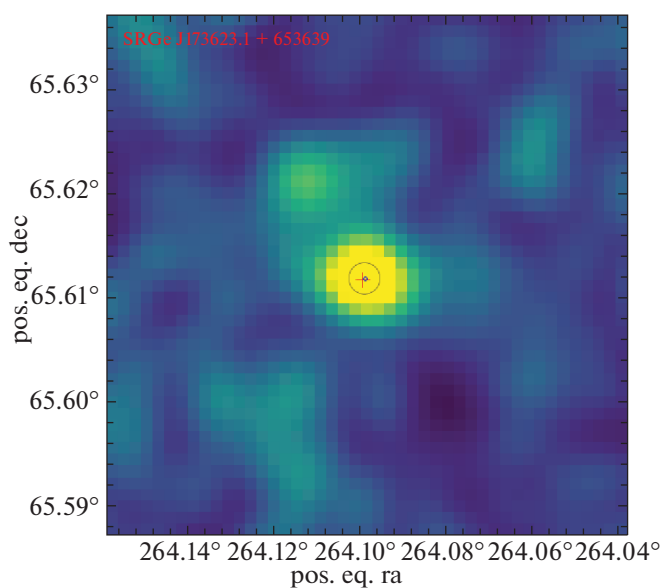


Рис. 7. То же, что на рис. 1, но для источника SRGe J173623.1+653639.

сглаживались скользящим средним по семи точкам. Итоговое спектральное разрешение составляет 19 \AA . Для получения потоков в энергетических единицах каждую ясную фотометрическую ночь получались спектры спектрофотометрического стандарта — звезды солнечного типа с большим дефицитом металлов *BD + 17d4708*. Выбор в качестве спектрофотометрического стандарта холодной звезды обусловлен тем, что гризма 15 в комплекте приборов серии ФОСК имеет второй порядок дифракции, который искажает спектр в красной

области ($>7000 \text{ \AA}$), если наблюдать горячие звезды из списка белых карликов Оука. Холодная звезда *BD + 17d4708* не имеет значительного потока в ультрафиолетовой части спектра, поэтому не возникает искажений регистрируемого спектрального распределения в красной и ближней инфракрасной областях спектра.

Результаты спектроскопических наблюдений на PTT-150

В табл. 3 приведены результаты спектроскопических определений красных смещений по данным

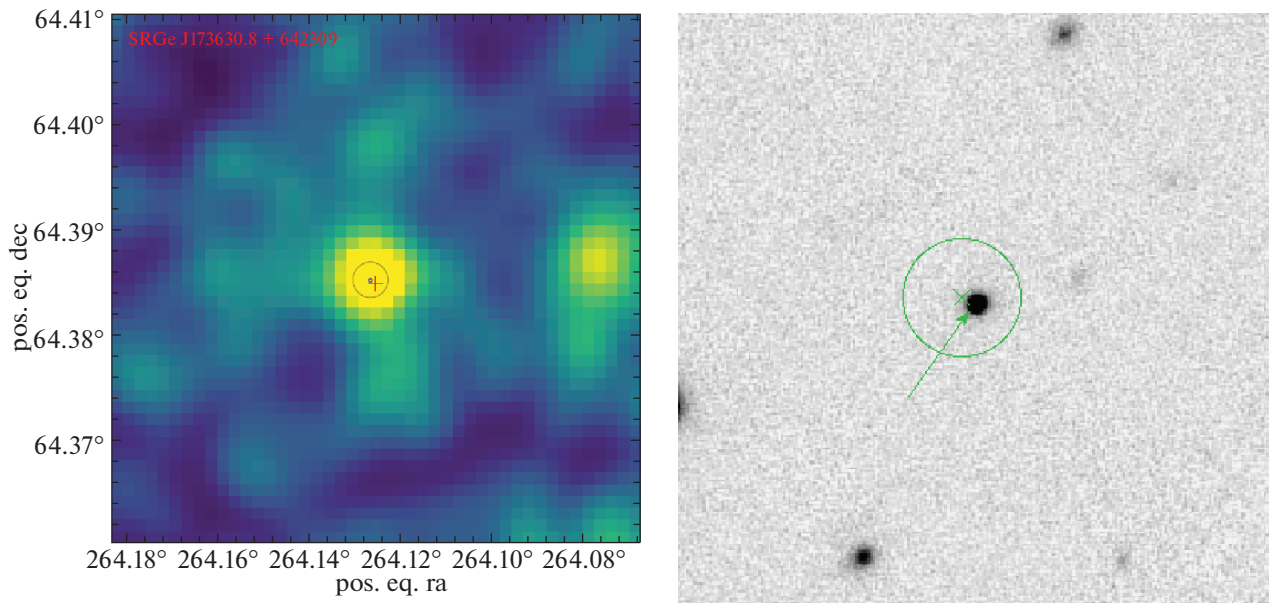


Рис. 8. То же, что на рис. 1, но для источника SRGe J173630.8+642309.

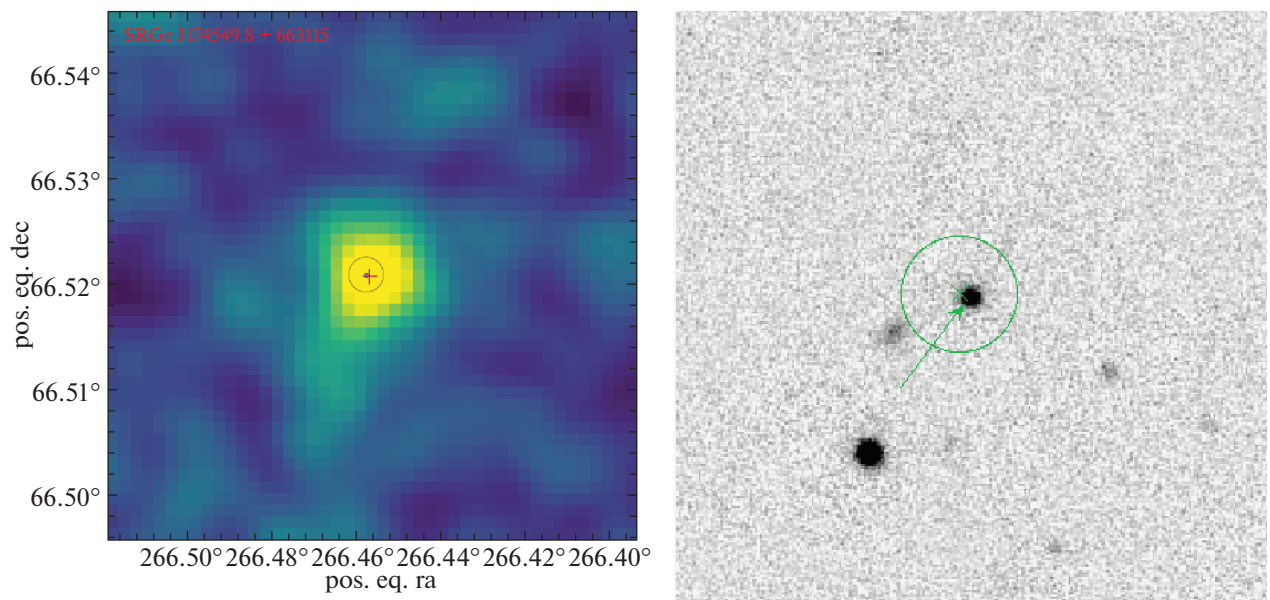


Рис. 9. То же, что на рис. 1, но для источника SRGe J174549.8+663115.

РТТ-150 и классификация источников. Для того, чтобы наши измерения z были в одной системе с каталогами квазаров в проектах SDSS (Парис и др., 2018) и LAMOST (Яо и др., 2019), красные смещения определялись по линии C IV 1549 Å для квазаров на $z = 2.6-3.2$.

На рис. 13–26 приведены спектры РТТ-150 в энергетических единицах.

SRGe J220203.3+703852

Ближайший к рентгеновскому источнику SRGe J220203.3+703852 оптический объект (на рассто-

янии 7^h4) имеет 21-ю зв. величину и неопределенную идентификацию в системе SRGz (табл. 2, рис. 10). По данным спутника Gaia (EDR3), параллакс этого объекта не измеряется $\pi = -0.1460 \pm \pm 1.0459$ mas и он может иметь как Галактическую, так и внегалактическую природу. Система SRGz оценила его фотометрическое красное смещение как $z_{\text{ph}} = 1.6_{-0.87}^{+1.12}$ с очень низкой уверенностью $z_{\text{Conf}} = 0.15$. Спектроскопические наблюдения на РТТ-150 (рис. 22) показали, что данный оптический объект является холодной звездой Галактики позднего спектрального класса.

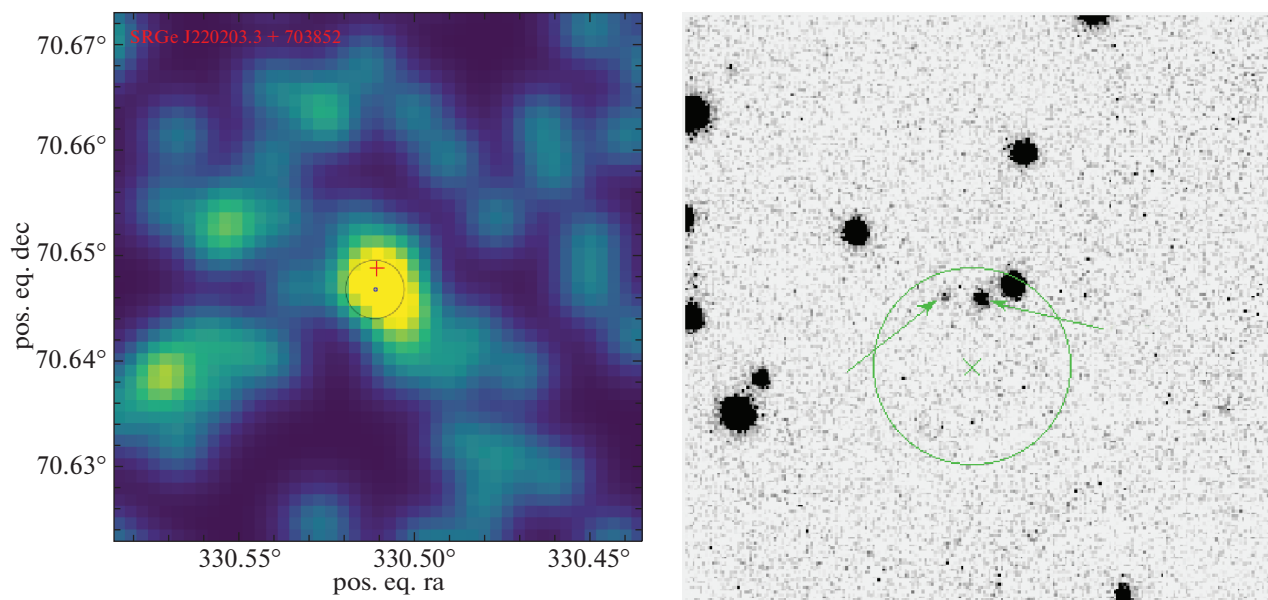


Рис. 10. То же, что на рис. 1, но для источника SRGe J220203.3+703852.

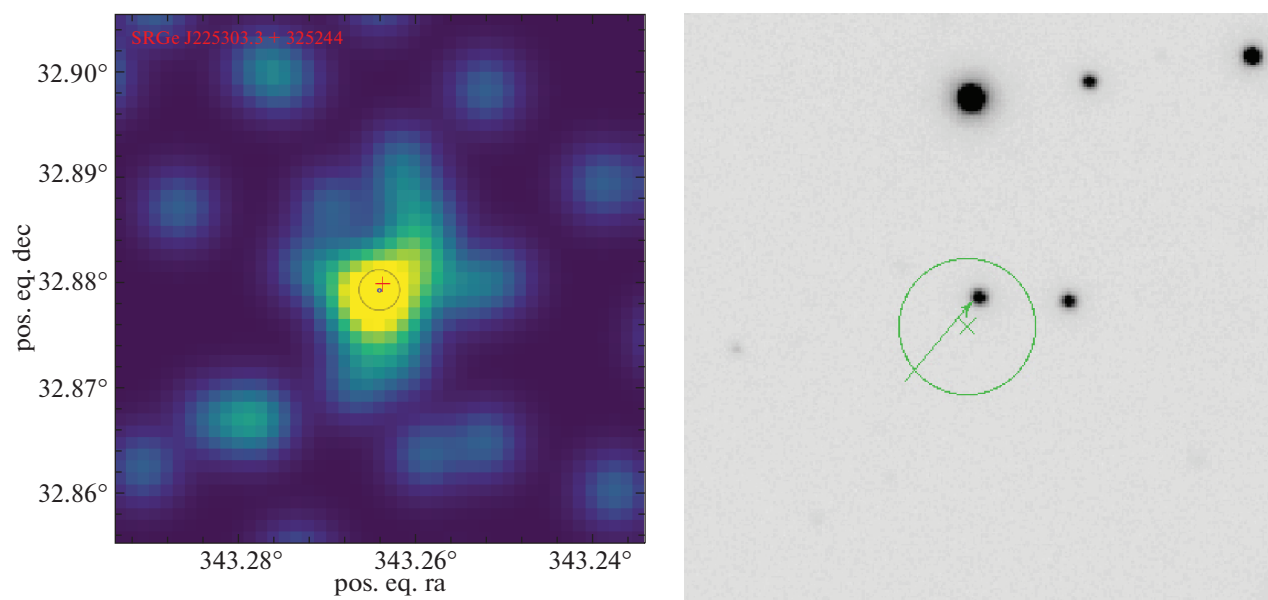


Рис. 11. То же, что на рис. 1, но для источника SRGe J225303.3+325244.

С левой стороны, рядом с 1-м оптическим кандидатом, на расстоянии ≈ 8.0 угл. сек от рентгеновского источника находится более слабый оптический объект яркостью $r \approx 22.4$ mag (показанный стрелкой на рис. 10). Система SRGz оценила его фотометрическое красное смещение как $z_{\text{ph}} = 0.81^{+0.43}_{-0.12}$ с $z\text{Conf} = 0.43$. Оптический спектр этого источника, полученный на PTT-150 (рис. 23), показал, что он является Сейфертовской галактикой (AGN) на красном смещении $z = 0.42$, которая, вероятнее всего, и является

оптическим двойником рентгеновского источника SRGe J220203.3+703852.

Отметим, что в кружке ошибок рентгеновского источника присутствует и более яркий 3-й объект (19.2 зв. величины на расстоянии $9''.5$), который также может являться оптическим компаньоном. По данным спутника Gaia (EDR3), параллакс этого объекта не измеряется, $\pi = -0.1367 \pm 0.1942$ mas. Система SRGz дает по нему прогноз с очень низкой степенью уверенности ($z_{\text{ph}} = 2.14^{+0.43}_{-1.22}$, $z\text{Conf} = 0.23$). Спектроскопические наблюдения на PTT-150 (рис. 24) показали, что

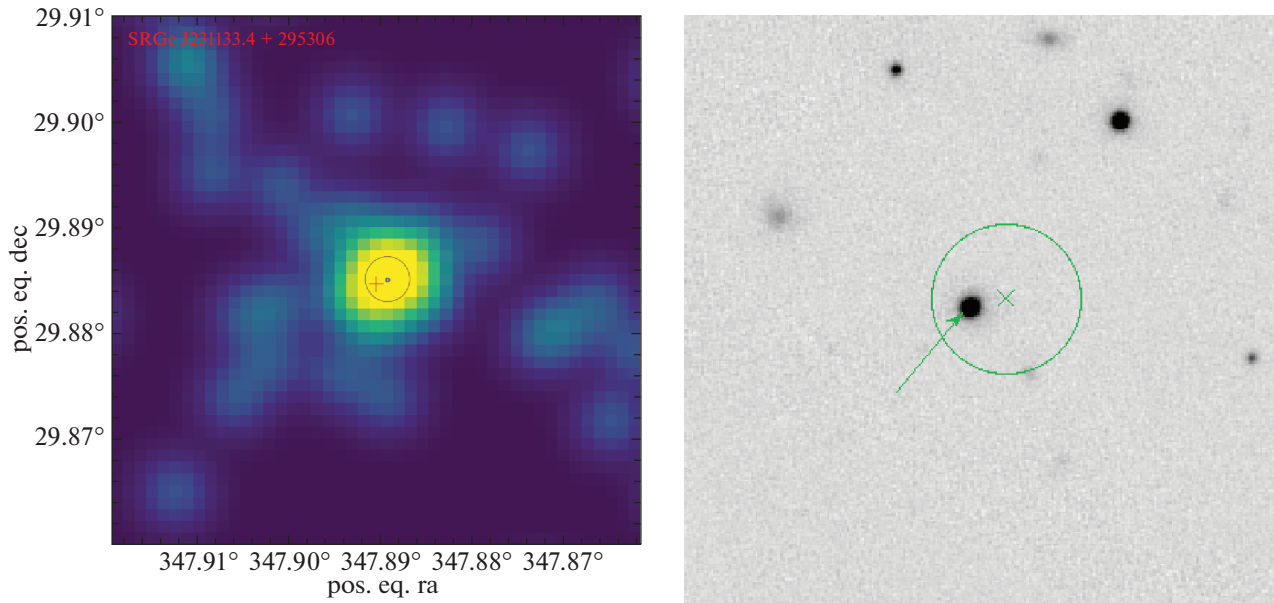


Рис. 12. То же, что на рис. 1, но для источника SRGe J231133.4+295306.

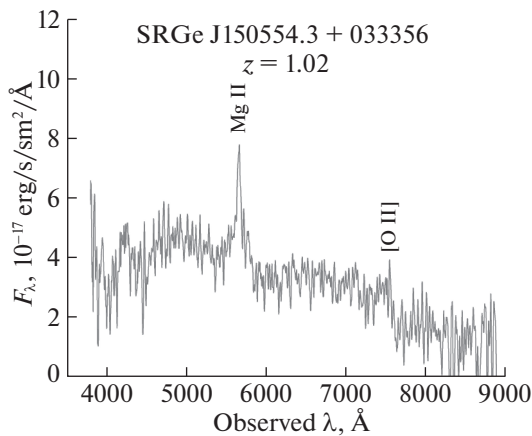


Рис. 13. Спектр сейфертовской галактики SRGe J150554.3+033356.

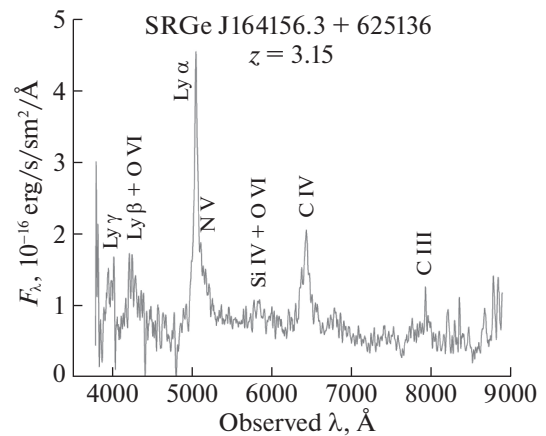


Рис. 14. Спектр квазара SRGe J164156.3+625136.

данный оптический объект является холодной звездой Галактики позднего спектрального класса.

Следует отметить, что все три оптических источника во время спектроскопических наблюдений на РТТ-150 одновременно попадали в щель спектрометра, что позволило исключить последовательное получение спектров для этих слабых источников.

Источник SRGe J220203.3+703852 находится на угловом расстоянии в 12 градусов от плоскости Галактики и, таким образом, поток от него испытывает существенное межзвездное поглощение, около двух звездных величин в фильтре r . Оценка величины межзвездного поглощения в направлении на этот источник составляет $E(B - V) = 0.8$,

$N(\text{HI} + \text{HII}) = 4.5 \times 10^{21}$ и получена с помощью калькулятора межзвездного поглощения на сайте рентгеновской обсерватории SWIFT². Спектры оптических кандидатов, полученные на РТТ-150, были исправлены за межзвездное поглощение. В табл. 1 для источника SRGe J220203.3+703852 даны наблюдаемые рентгеновские потоки телескопа eROZITA, не исправленные за межзвездное поглощение.

Наблюдения всех трех оптических объектов в кружке ошибок рентгеновских координат источника SRGe J220203.3+703852 позволяют нам идентифицировать активное ядро галактики (AGN) на

² <https://www.swift.ac.uk/analysis/nhtot/>

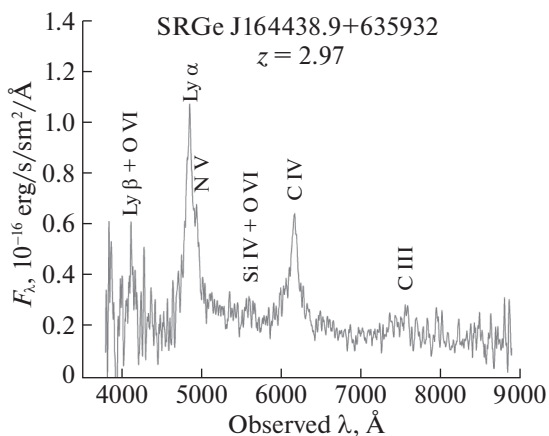


Рис. 15. Спектр квазара SRGe J164438.9+635932.

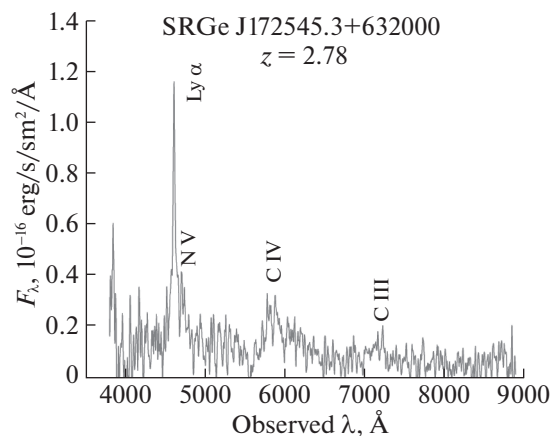


Рис. 18. Спектр квазара SRGe J172545.3+632000.

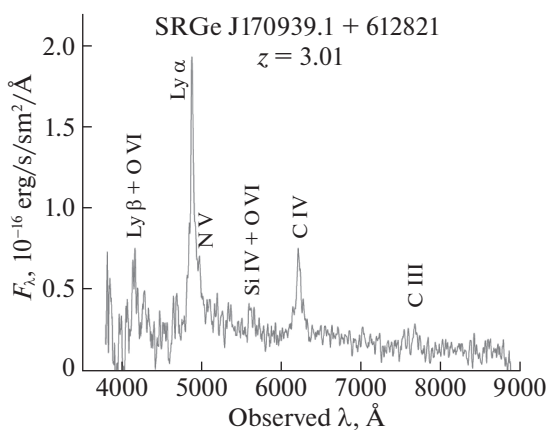


Рис. 16. Спектр квазара SRGe J170939.1+612821.

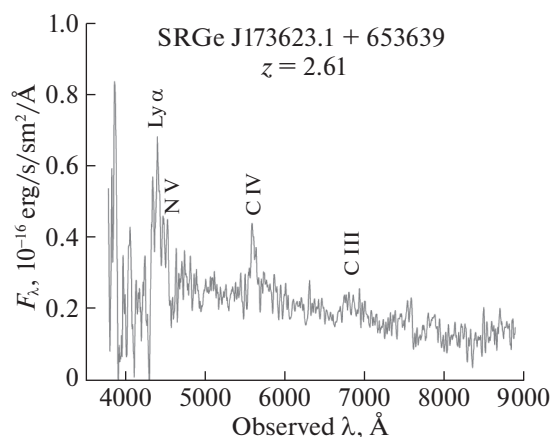


Рис. 19. Спектр квазара SRGe J173623.1+653639.

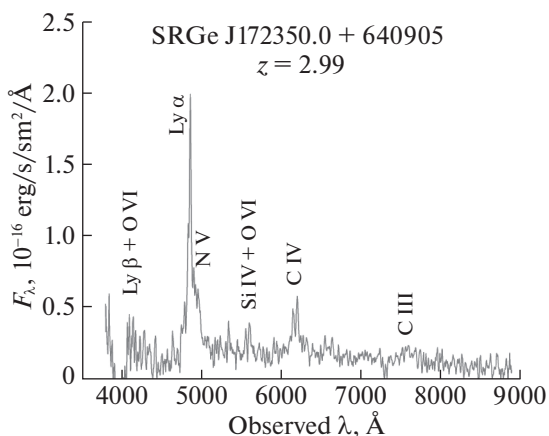


Рис. 17. Спектр квазара SRGe J172350.0+640905.

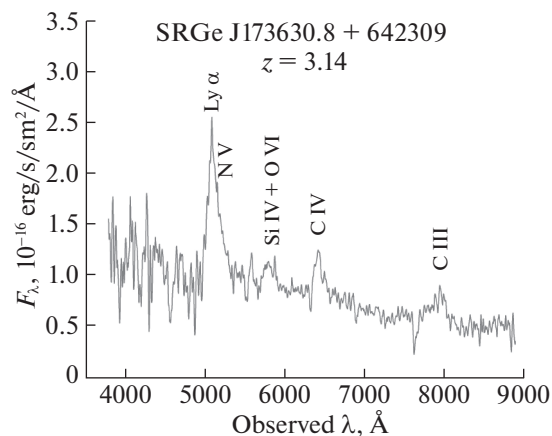


Рис. 20. Спектр квазара SRGe J173630.8+642309.

красном смещении $z = 0.42$ как наиболее вероятный оптический компаньон этого рентгеновского источника. Дополнительным подтверждением данного вывода являются следующие оценки физических параметров этого оптического компаньона,

характерные для активных ядер галактик — оптическая светимость $\approx 3 \times 10^{43}$ erg/s и отношение $(F_X/F_{\text{Opt}}) \approx 1$.

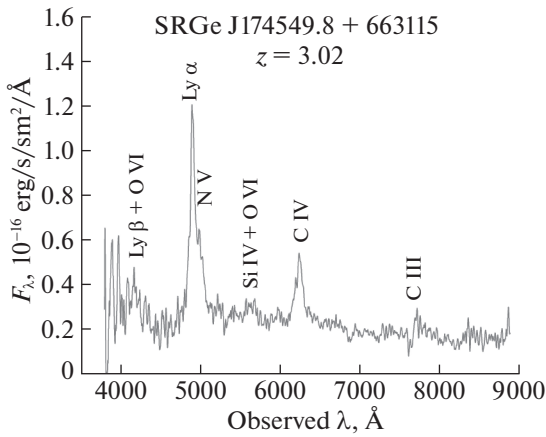


Рис. 21. Спектр квазара SRGe J174549.8+663115.

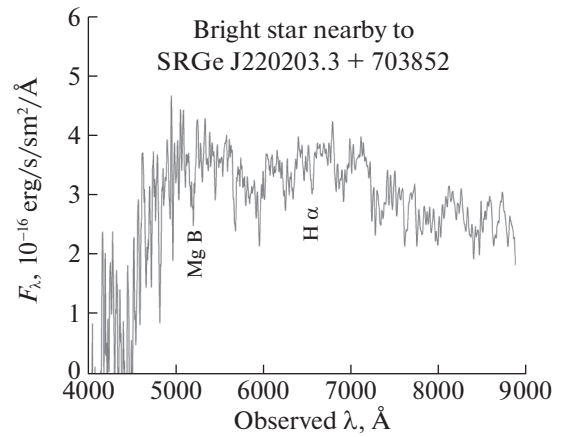


Рис. 24. Спектр звезды $r = 19.22$ mag вблизи Сейфертовской галактики SRGe J220203.3+703852. Потoki исправлены на величину межзвездного поглощения $E(B - V) = 0.8$ в направлении на источник.

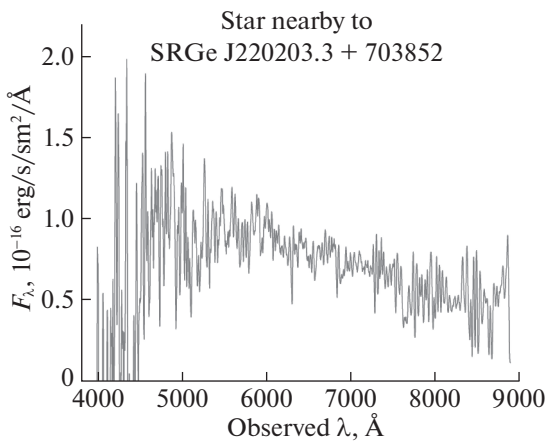


Рис. 22. Спектр звезды $r = 20.96$ вблизи Сейфертовской галактики SRGe J220203.3+703852. Потoki исправлены на величину межзвездного поглощения $E(B - V) = 0.8$ в направлении на источник.

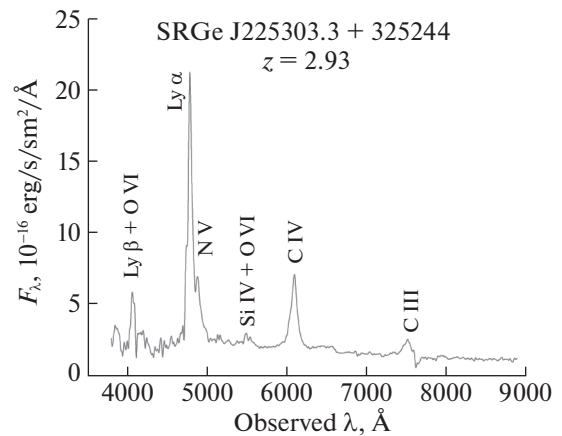


Рис. 25. Спектр квазара SRGe J225303.3+325244.

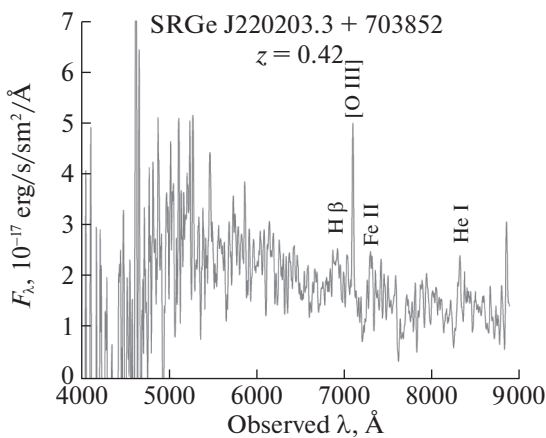


Рис. 23. Суммарный спектр Сейфертовской галактики SRGe J220203.3+703852, $r = 22.36$. Потoki исправлены на величину межзвездного поглощения $E(B - V) = 0.8$ в направлении на источник.

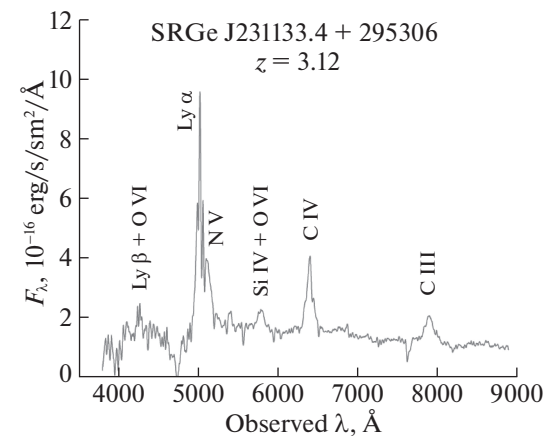


Рис. 26. Спектр квазара SRGe J231133.4+295306.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе выполнена спектроскопия 12 оптических компаньонов рентгеновских источников из обзора неба SRG/eROZITA. 10 источников спектроскопически подтверждены как квазары на $z = 2.6 - 3.2$. Два источника оказались активными ядрами галактик (АЯГ) на красных смещениях $z = 1.02$ и $z = 0.42$. Фотометрические оценки красных смещений в пределах ошибок для большинства объектов хорошо согласуются со спектральными измерениями. Более подробное сравнение спектроскопических и фотометрических красных смещений и количественная характеристика точности последних будут произведены на основании более широкой выборки в следующих статьях этой серии.

Полученные результаты демонстрируют, что созданная в ИКИ РАН в рабочей группе по составлению каталога источников SRG/eROZITA система SRGz обеспечивает высокую точность при поиске далеких рентгеновских квазаров среди источников SRG/eROZITA и может в дальнейшем применяться при отборе кандидатов для последующей оптической спектроскопии.

На 1.5-м Российско-Турецком телескопе (РТТ-150) возможно выполнение программы оптических отождествлений и спектроскопии далеких рентгеновских квазаров (открываемых космической обсерваторией SRG), имеющих оптический блеск до 21-й звездной величины в полосе i , и красное смещение до $z = 4.5$.

Работа выполнена за счет средств субсидии (проект № 0671-2020-0052), выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности. Авторы благодарны ТЮБИТАК, ИКИ, КФУ и АН РТ за частичную поддержку в использовании РТТ-150 (Российско-Турецкий 1.5-м телескоп в Анталии).

Это исследование основано на наблюдениях телескопа eROZITA 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/eROZITA 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. Исползованные в настоящей работе данные телескопа eROZITA обработаны с помощью программного обеспечения eSASS, разработанного германским консорциумом eROZITA и программного обеспечения, разработанного российским консорциумом телескопа SRG/eROZITA. Система SRGz создана в рабочей группе по поиску рентгеновских источников, их отождествлению и составлению каталога по данным телескопа eROZITA в отделе астрофизики высоких энергий ИКИ РАН.

Оптические координаты исследованных источников из каталога GAIA EDR3 миссии GAIA Европейского космического агентства (<https://www.cosmos.esa.int/gaia>) получены с использованием системы Aladin Sky Atlas, разработанной в Страсбургском Центре данных, Стасбургская обсерватория, Франция.

Список рентгеновских источников, исследованных в данной работе, а также других источников, открытых телескопами космической обсерватории SRG, доступен на сайте астрофизического проекта по адресу <http://srg.cosmos.ru/objects>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахумада и др. (R. Ahumada, C.A. Prieto, A. Almeida, F. Anders, S.F. Anderson, B.H. Andrews, B. Anguiano, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **249**, 3 (2020).
2. Бикмаев и др. (И.Ф. Бикмаев, Э.Н. Иртуганов, Е.А. Николаева, Н.А. Сахибуллин, Р.И. Гумеров, А.С. Склъянов, М.В. Глушков, В.Д. Борисов и др.), *Письма в Астрон. журн.* **46**, 689 (2020). [I.F. Bikmaev, E.N. Irtuganov, E.A. Nikolaeva, N.A. Sakhbullin, R.I. Gumerov, A.S. Sklyanov, M.V. Glushkov, V.D. Borisov, et al., *Astron. Lett.* **46**, 645 (2020)].
3. ван Доккум (P. G. van Dokkum), *PASP* **113**, 1420 (2001).
4. Gaia Collaboration (A.G.A. Brown, A. Vallenari, T. Prusti, J.H.J. de Bruijne, C. Babusiaux, C.A.L. Bailer-Jones, M. Biermann, D.W. Evans, et al.), *Astron. Astrophys.* **616**, 1 (2018).
5. Дей и др. (A. Dey, D.J. Schlegel, D. Lang, R. Blum, K. Burleigh, X. Fan, J.R. Findlay, D. Finkbeiner, et al.), *Astron. J.* **157**, 168 (2019).
6. Додин и др. (А.В. Додин, С.А. Потанин, Н.И. Шатский, А.А. Белинский, К.Е. Атапин, М.А. Бурлак, О.В. Егоров, А.М. Татарников и др.), *Письма в Астрон. журн.* **46**, 459 (2020) [A.V. Dodin et al., *Astron. Lett.* **46**, 429 (2020)].
7. Зоу и др. (H. Zou, X. Zhou, X. Fan, T. Zhang, Z. Zhou, X. Peng, J. Nie, L. Jiang, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **245**, 4 (2019).

8. Мещеряков и др. (А. Мещеряков, В. Глазкова, С. Герасимов, И. Машечкин), Письма в Астрон. журн. **44**, 801 (2018) [A. Mescheryakov, A.V. Glazkova, S.V. Gerasimov, I.V. Mashechkin, *Astron. Lett.* **44**, 735 (2018)].
9. Мещеряков (А. Мещеряков и др.), готовится к печати (2021).
10. Павлинский и др. (М. Pavlinsky, А. Tkachenko, V. Levin, N. Alexandrovich, V. Arefiev, V. Babushkin, O. Batanov, Yu. Bodnar, et al.), arXiv e-prints arXiv: 2103.12479, (2021).
11. Парис и др. (I. Paris, P. Petitjean, E. Aubourg, A.D. Myers, A. Streblyanska, B.W. Luke, S.F. Anderson, E. Armengaud, et al.), *Astron. Astrophys.* **613**, 51 (2018).
12. Предель и др. (P. Predehl, R. Andritschke, V. Arefiev, V. Babushkin, O. Batanov, W. Becker, H. Becker, H. Boehringer, et al.), *Astron. Astrophys.* **647**, A1 (2021).
13. Сюняев и др. (R. Sunyaev, V. Arefiev, V. Babushkin, V. Bogomolov, K. Borisov, M. Buntov, H. Brunner, R. Burenin, et al.), arXiv e-prints arXiv:2104.13267 (2021).
14. Хорунжев и др. (Г.А. Хорунжев, А.В. Мещеряков, Р.А. Буренин, А.Р. Ляпин, П.С. Медведев, С.Ю. Сазонов, М.В. Еселевич, Р.А. Сюняев и др.), Письма в Астрон. журн. **46**, 155 (2020).
15. Чамберс и др. (K.C. Chambers, E.A. Magnier, N. Metcalfe, H.A. Flewelling, M.E. Huber, C.Z. Waters, L. Denneau, P.W. Draper, et al.), arXiv e-prints arXiv: 1612.05560, (2016).
16. Яо и др. (S. Yao, X.-B. Wu, Y.L. Ai, J. Yang, Q. Yang, X. Dong, R. Joshi, F. Wang, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **240**, 6 (2019).