

# СИЛЬНО ПЕРЕМЕННЫЕ АКТИВНЫЕ ЯДРА ГАЛАКТИК В ОБЗОРЕ НЕБА СРГ/еРОЗИТА: II. СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ С ПОМОЩЬЮ РОССИЙСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ

© 2024 г. Г. А. Хорунжев<sup>\*1</sup>, С. Ю. Сазонов<sup>1</sup>, П. С. Медведев<sup>1</sup>, М. Р. Гильфанов<sup>1,2</sup>, А. В. Додин<sup>3</sup>,  
А. В. Моисеев<sup>4</sup>, И. А. Зазнобин<sup>1</sup>, А. В. Москалева<sup>1</sup>, Д. В. Опарин<sup>4</sup>, М. А. Бурлак<sup>3</sup>,  
О. В. Возякова<sup>3</sup>, М. В. Еселевич<sup>5</sup>, Р. А. Сюняев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт астрофизики общества им. Макса Планка, Гархинг, Германия

<sup>3</sup>Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

<sup>4</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

<sup>5</sup>Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН, Иркутск, Россия

Поступила в редакцию 12.12.2024 г.

После доработки 21.01.2025 г.; принята к публикации 21.01.2025 г.

Представлены результаты спектрального отождествления девяти сильно переменных рентгеновских источников, обнаруженных телескопом еРОЗИТА обсерватории СРГ в ходе обзора всего неба и опубликованных в первой статье данной серии (полная выборка состоит из 49 объектов, Медведев и др., 2022). Для наблюдений использовались телескопы БТА САО РАН, SAI25 КГО ГАИШ МГУ, АЗТ-33ИК ИСЗФ СО РАН и РТТ-150. Один из объектов оказался катаклизмической переменной, а еще один уже был известен ранее как событие приливного разрушения. Остальные семь оказались активными ядрами галактик (АЯГ) на красных смещениях от 0.035 до 0.523. Для четырех объектов оценена масса центральной черной дыры по ширине и светимости широкой компоненты линии  $\text{H}\alpha$ . Эти черные дыры оказались умеренно массивными: от  $\sim 8 \times 10^6$  до  $\sim 10^8 M_{\odot}$ .

**Ключевые слова:** сверхмассивные черные дыры, активные ядра галактик, рентгеновские источники, СРГ/еРОЗИТА.

DOI: 10.31857/S0320010824120038, EDN: LGGRYK

## ВВЕДЕНИЕ

Рентгеновский обзор всего неба, который проводился с помощью телескопа еРОЗИТА (Предел и др., 2021) орбитальной обсерватории СРГ (Сюняев и др., 2021) с декабря 2019 по февраль 2022 г., благодаря своей рекордной чувствительности и стратегии повторных сканирований, позволил не только задетектировать несколько миллионов активных ядер галактик (АЯГ) и сотни тысяч объектов других типов, но и систематически исследовать их переменность в рентгеновских лучах. В нашей недавней работе (Медведев и др., 2022) по данным обзора СРГ/еРОЗИТА на восточной Галактической половине неба ( $0^{\circ} < l < 180^{\circ}$ ) был проведен поиск сильно переменных АЯГ и кандидатов в АЯГ, а именно таких, поток от которых в диапазоне энергий 0.3–2.3 кэВ изменился в  $R_X \equiv F_i/F_j \geq 10$  раз между какими-либо двумя ( $i, j = 1\dots 5$ ) из проведенных полугодичных обзоров<sup>1</sup>. Таких объектов оказалось всего 635 из около двух миллионов источников,

обнаруженных телескопом еРОЗИТА на рассматриваемой половине неба.

Особый интерес представляет подвыборка из 49 АЯГ и кандидатов в АЯГ с  $R_X \geq 10$ , которые были статистически значимо задетектированы не только в ярком, но и в тусклом состоянии (т.е. для них параметр  $R_X$  был рассчитан именно как отношение потоков  $F_i$  и  $F_j$ , а не как отношение потока  $F_i$  к верхнему пределу на поток  $F_j$ ), так как для них можно сравнить друг с другом не только потоки, но и спектры излучения в обоих состояниях, что и было сделано в работе (Медведев и др., 2022). На момент той публикации 36 объектов выборки являлись спектроскопически подтвержденными АЯГ (сейфертовские галактики и квазары первого и второго типа, галактики с низкой степенью ионизации области излучения (LINER), блазары). Таким образом, для достижения статистической полноты в отождествлении источников оставалось провести оптическую спектроскопию примерно четверти выборки.

В настоящей работе представлены результаты спектрального отождествления на российских оптических телескопах девяти ранее не изученных рентгеновских

\*Электронный адрес: horge@cosmos.ru

<sup>1</sup>Телескоп еРОЗИТА осмотрел все небо четыре раза, а 38% небесной сферы — еще и пятый раз.

источников из описанной выше выборки (Медведев и др., 2022). Аналогичные результаты еще по четырем объектам выборки, для отождествления которых были недавно проведены наблюдения на телескопе Хейла Паломарской обсерватории, будут представлены в отдельной публикации.

Для расчета светимостей объектов в работе используется космологическая модель  $\Lambda$ CDM с  $H_0 = 70 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$  и  $\Omega_\Lambda = 0.7$ .

### ВЫБОРКА ОБЪЕКТОВ И ИХ ОПТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

В табл. 1 представлена исследуемая выборка рентгеновских источников. В первой колонке для каждого объекта приведен порядковый номер (чем он меньше, тем больше значение параметра рентгеновской переменности  $R_X$ ) в исходной выборке из статьи (Медведев и др. 2022, см. табл. 1 в той работе). Эти же номера используются ниже и в других таблицах и рисунках. На рис. 1 представлены архивные оптические изображения исследуемых областей неба по данным обзора Pan-STARRS (Флювеллинг и др., 2020; Чамберс и др., 2016). Для каждого рентгеновского источника, в 98-процентной области его местоположения (их радиусы приведены в табл. 1) видим единственный оптический объект, причем все они за исключением одного являются протяженными. Единственный звездообразный объект – SRGE J213946.2+113817, является и самым тусклым в выборке (см. колонку с видимыми звездными величинами в табл. 1).

Для отобранных таким образом оптических объектов была проведена спектроскопия на следующих телескопах: 1.5-м Российско-турецкий телескоп (РТТ-150), 1.6-м телескоп АЗТ-33ИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН, 2.5-м телескоп SAI25 Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ, 6-м телескоп БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН. При этом для ряда объектов было проведено несколько наблюдений (не одновременных) на разных телескопах из этого перечня, чтобы более полно покрыть интересующий нас диапазон длин волн.

Наблюдения на РТТ-150 проводились с помощью спектрографа низкого разрешения TFOSC<sup>1</sup> со следующим набором гризм<sup>2</sup>: №8 – диапазон 6200–7850 Å, спектральное разрешение FWHM = 8.6 Å; №15 – 3800–8880 Å, 12 Å соответственно; №17 – 8000–12000 Å, 12 Å соответственно. Значения спектрального разрешения приведены для щели шириной 1.8 угл. сек, которая использовалась во всех наблюдениях TFOSC и была ориентирована вдоль направления прямого восхождения.

Спектроскопия на телескопе АЗТ33-ИК проводилась с помощью спектрографа АДАМ (Афанасьев и др., 2016; Буренин и др., 2016). В качестве диспергирующего элемента использовалась объемная фазовая голографическая решетка VPHG600G (3700–7340 Å) с разрешением FWHM = 8.5 Å при ширине щели

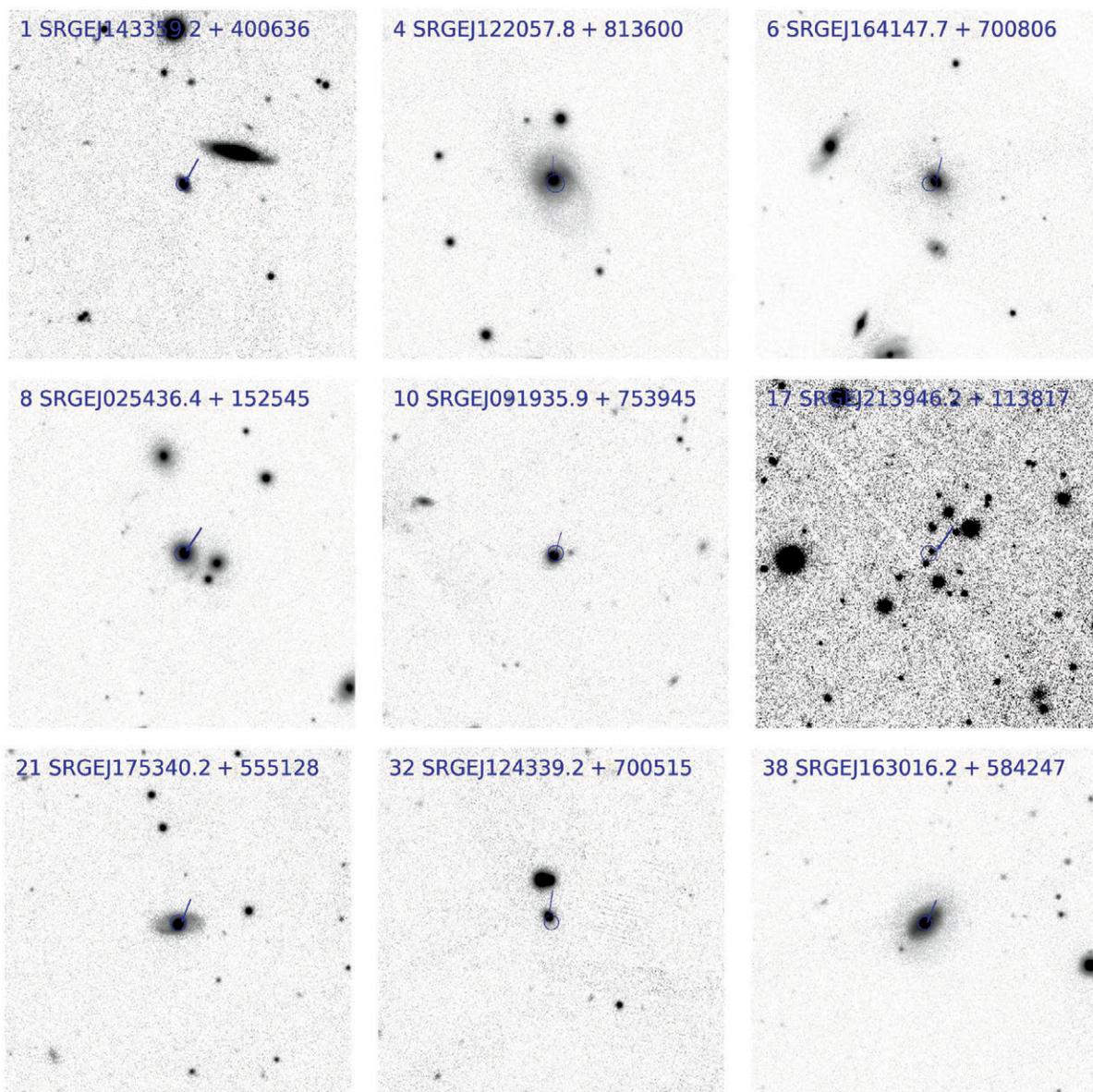
<sup>1</sup><http://hea.iki.rssi.ru/rtt150/ru/index.php?page=tfosc>

<sup>2</sup><https://tug.tubitak.gov.tr/tr/icerik/tfosc-tug-faint-object-spectrograph-and-camera>

**Таблица 1.** Журнал наблюдений

№	Источник SRGE	$R_{98}$ "	Оптический партнер				Дата	Телескоп	Гризма	Щель "	Эксп. с	РА °
			$\alpha$	$\delta$	PSFMag	$E(B - V)$						
1	J143359.2+400636	2.1	218.49664	40.11006	$r = 19.18$	0.01	2022/06/29	БТА	940@600	2.0	3 × 900	194.7
4	J122057.8+813600	3.0	185.24076	81.60008	$r = 16.37$	0.11	2022/12/21	АЗТ-33ИК	600G	2.0	4 × 600	0
							2023/01/21	SAI25	TDS	1.0	2 × 1200	89.2
6	J164147.7+700806	2.4	250.44877	70.13493	$r = 17.33$	0.03	2023/01/16	SAI25	TDS	1.0	2 × 1200	117.4
8	J025436.4+152545	2.5	43.65163	15.42901	$r = 16.41$	0.11	2021/10/09	SAI25	TDS	1.0	2 × 1200	22
10	J091935.9+753945	2.6	139.89952	75.66263	$z = 16.50$	0.02	2023/01/12	SAI25	TDS	1.5	2 × 1200	128.9
							2023/01/16	БТА	1200@860	1.5	3 × 300	221.7
							2023/02/12	РТТ-150	G17	1.8	3 × 900	90
17	J213946.2+113817	2.6	324.94264	11.63796	$r = 20.55$	0.10	2022/12/27	РТТ-150	G15	1.8	4 × 1200	90
21	J175340.2+555128	2.7	268.41746	55.85754	$r = 18.32$	0.10	2023/01/14	SAI25	TDS	1.5	3 × 1200	47.8
32	J124339.2+700515	2.4	190.91351	70.08750	$r = 17.36$	0.01	2022/12/21	АЗТ-33ИК	600G	2.0	4 × 600	0
							2023/01/19	БТА	1026@735	1.5	3 × 300	347.1
							2023/05/26	РТТ-150	G8	1.8	4 × 600	90
38	J163016.2+584247	2.2	247.56770	58.71305	$r = 17.33$	0.01	2023/01/16	SAI25	TDS	1.0	1 × 1200	114.2

**Примечание.** В первом столбце для каждого источника приведен его порядковый номер в выборке Медведев и др. (2022). В третьем столбце представлен радиус области локализации рентгеновского источника на уровне достоверности 98% (без учета систематической неопределенности, связанной с астрометрической привязкой) на основе суммарной карты обзора всего неба SPГ/еРОЗИТА. В шестом столбце представлены видимая звездная величина предполагаемого оптического партнера и соответствующий фильтр из таблицы Pan-STARRS DR2 Stacked object table (Флювеллинг и др., 2020). В последнем столбце приведен позиционный угол, который отсчитывается в направлении от северного полюса мира к востоку.



**Рис. 1.** Изображения размером  $2' \times 2'$  в фильтре  $i$  по данным обзора Pan-STARRS. На каждой панели кругом показана область локализации рентгеновского источника телескопом eROSITA, а стрелка указывает на объект, для которого был получен оптический спектр.

2 угл. сек, которая была ориентирована вдоль направления склонения.

Наблюдения на телескопе SAI25 проводились с помощью двухлучевого транзиент-спектрографа TDS (Потанин и др., 2020; Додин и др., 2021). Он характеризуется разрешением  $\text{FWHM} = 3.6 \text{ \AA}$  в синем канале ( $3600\text{--}5770 \text{ \AA}$ ) и  $\text{FWHM} = 2.6 \text{ \AA}$  — в красном канале ( $5670\text{--}7460 \text{ \AA}$ ) при ширине щели 1 угл. сек. Использовались щели 1 и 1.5 угл. сек.

Наблюдения на БТА проводились с помощью многорежимного фокального редуктора SCORPIO-2 (Афанасьев и Моисеев, 2011) в режиме спектроскопии с длинной щелью. В качестве фотоприемника использовалась ПЗС-матрица E2V 261-84, позволяющая получать спектры в диапазоне  $3600\text{--}10900 \text{ \AA}$

(Афанасьев и др., 2023). Использовались объемные фазовые решетки VPHG940@600, VPHG1200@860 и VPHG1026@735. Решетка VPHG940@600 имеет рабочий диапазон  $3500\text{--}8500 \text{ \AA}$  и спектральное разрешение  $\text{FWHM} = 7.0 \text{ \AA}$ , решетка VPHG1200@860 —  $7445\text{--}10900 \text{ \AA}$  и  $5.1 \text{ \AA}$  соответственно, решетка VPHG1026@735 —  $5800\text{--}9500 \text{ \AA}$  и  $6.1 \text{ \AA}$  соответственно при ширине щели 1 угл. сек. Использовались щели 1.5 и 2 угл. сек.

Чтобы учесть потери света на щели, нормировка спектров производилась на поток от звездообразного ядра. Для этого использовались видимые звездные величины (PSF) объектов из Pan-STARRS DR2 Stacked object catalog (Флювеллинг и др., 2020; Чамберс и др., 2016) в каком-либо широком фильтре, который ука-

зан для каждого объекта в табл. 1. Если для какого-то объекта было снято два или три спектра, то такая калибровка производилась для первого из них (по времени получения), а дополнительные спектры привязывались к нему в общей области длин волн. Принимая во внимание сильную переменность исследуемых объектов в рентгеновском диапазоне, нельзя исключить и значительную переменность их потока в видимом диапазоне. Мы не исследуем специально этот вопрос в данной работе, но отмечаем, что в приводимых ниже измеренных значениях потоков континуального и линейчатого излучения могут присутствовать существенные систематические неопределенности.

Спектры были исправлены за поглощение на пыли в Галактике, используя карту Шлегель и др. (1998). Соответствующие значения  $E(B-V)$  приведены в табл. 1. Предполагались стандартные закон  $R_V = 3.1$  и кривая межзвездного покраснения (Фитцпатрик и др., 2019). При этом использовались пакеты программ на языке Python *astropy* (Сообщество Астрономии и др., 2013), *dustmaps* (Грин и др., 2018) и *dust\_extinction* (Гордон и др., 2024).

Полученные спектры, пересчитанные в систему покоя объектов, показаны на рис. 2. Для их моделирования использовался пакет *ruspecfit* (Гинзбург и др., 2022). Излучение звездного населения не вычиталось. Профили эмиссионных линий описывались гауссианами (линии поглощения слабые и поэтому не учитывались). При этом обычно ширины узкой компоненты линии H $\beta$  и линии [OIII](4958 Å) были привязаны к ширине линии [OIII](5007 Å), а ширины узкой компоненты линии H $\alpha$ , линии [NII](6548 Å) и линий дуплета [SII] – к ширине линии [NII](6584 Å). Однако в некоторых случаях, если позволяло качество данных, эти ширины были свободными параметрами.

В табл. 4 представлены измеренные характеристики эмиссионных линий, а именно: центральная длина волны, поток, эквивалентная ширина (EW), измеренная ширина на полувысоте ( $\text{FWHM}_{\text{fit}}$ ) и ширина за вычетом инструментального спектрального разрешения:  $\text{FWHM} = \sqrt{\text{FWHM}_{\text{fit}}^2 - \text{FWHM}_{\text{res}}^2}$ . Кроме того, для каждого объекта приведено значение потока в континууме на длине волны 5100 Å. Верхние пределы на поток линий приводятся со значимостью  $2\sigma$ . Остальные величины имеют доверительные интервалы со значимостью  $1\sigma$ .

Красные смещения источников определялись по положению пиков эмиссионных линий.

## СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ

Для классификации АЯГ использовались стандартные критерии, основанные на соотношении потоков в эмиссионных линиях (Остерброк, 1981; Верон-Сетти и др., 2001). В частности, использовалась диаграмма Болдуина–Филлипса–Терлевица (BPT, Болдуин и др. 1981) для отношений потоков в близко рас-

положенных запрещенных линиях. Она показана на рис. 3. Для диагностики галактик типа LINER использовались дополнительные соотношения потоков в узких линиях элементов в низких и высоких степенях ионизации: [OII](3727)/[OIII](5007), [NII](6584)/H $\alpha$ , [SII]/H $\alpha$  и [OI](6300)/H $\alpha$  (Кьюли и др., 2006), при этом потоки исправлялись за внутреннее поглощение, оцененное по бальмеровскому декременту (см. ниже).

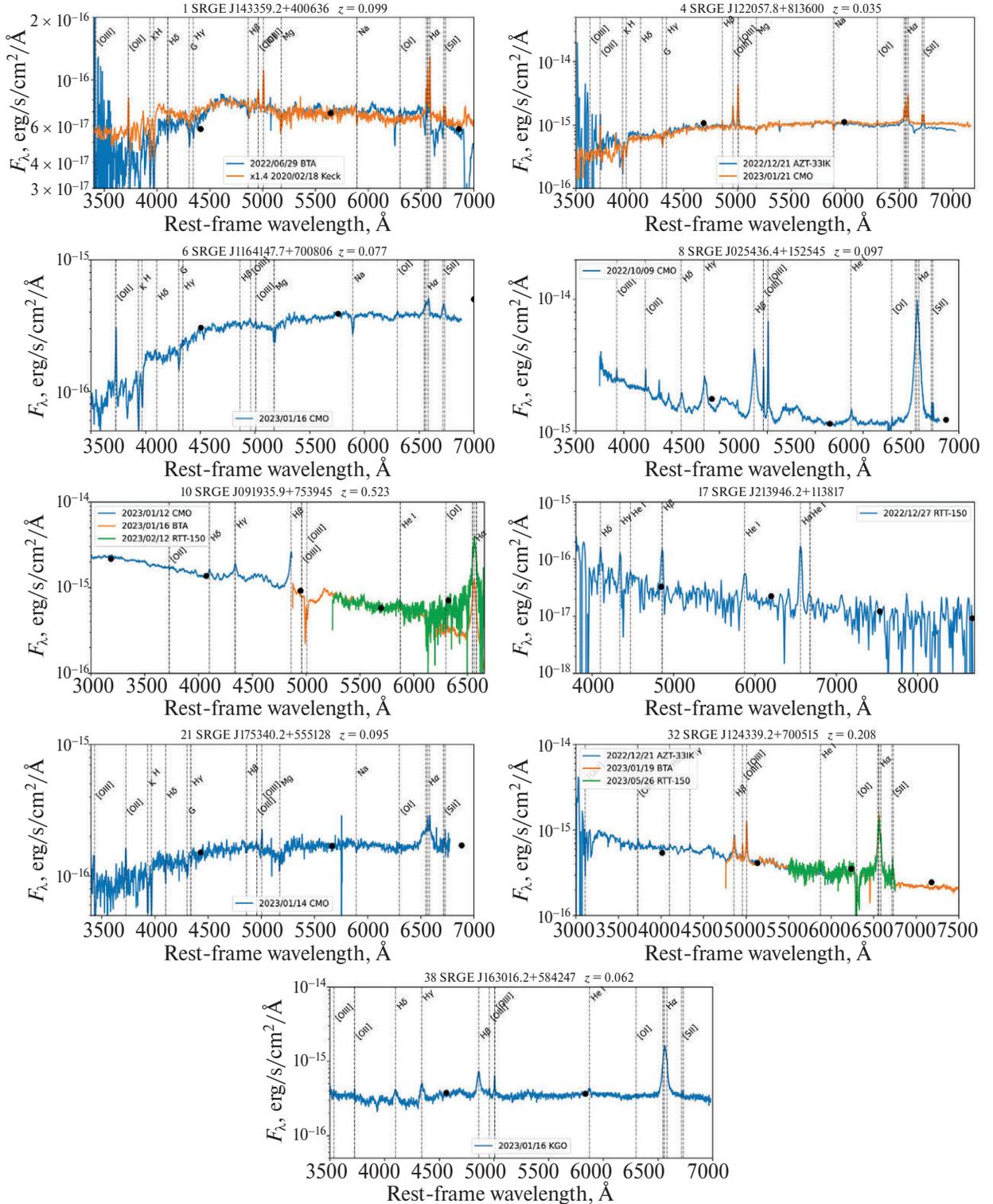
Результаты классификации и измерения красных смещений объектов представлены в табл. 2. Ниже приводятся подробности отождествления отдельных объектов выборки.

**№ 1. SRGE J143359.2+400636.** Этот объект выделяется из всей выборки тем, что это известное событие приливного разрушения (tidal disruption event, TDE). Он был открыт как рентгеновский транзиент телескопом ePOZITA 27 декабря 2019 года, т.е. в начале обзора всего неба обсерватории СРГ (Хабибуллин и др., 2020), а его мониторинг в последующие месяцы в рентгеновском и оптическом диапазонах показал типичное для TDE затухание блеска (Брайтман и др., 2021). К сожалению, этот факт оказался не отмеченным в работе Медведев и др. (2022). Согласно оптическому спектру, снятому на БТА в июне 2022 года (т.е. спустя два с половиной года после обнаружения TDE), этот объект может быть как галактикой типа LINER, так и сейфертовской галактикой. Однако в спектре, полученном на телескопе Кека (Брайтман и др., 2021) (несколько лучшего качества в синей области и с лучшим спектральным разрешением, см. рис. 2), присутствуют линии ионов с низкой

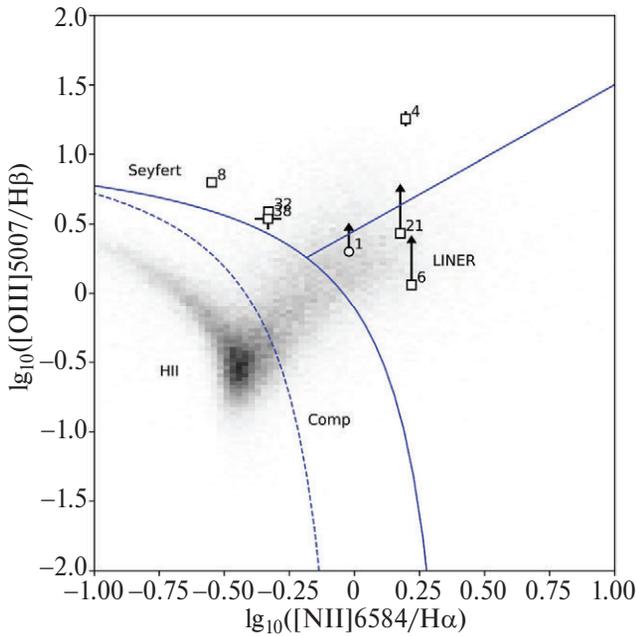
**Таблица 2.** Спектроскопическая классификация

№	$z$	Класс	$A_{V,\text{Balm,BLR}}$	$A_{V,\text{Balm,NLR}}$
1	0.099	TDE/LINER2 <sup>a</sup>		0
4	0.035	Sy1.9	$>0^b$	$2.5 \pm 0.3$
6	0.077	LINER1.9	$>0^b$	$>1.8$
8	0.097	Sy1	$0.40 \pm 0.02$	$1.69 \pm 0.12$
10	0.523	Sy1 <sup>c</sup>	$0.0 \pm 0.1$	$0.0 \pm 0.1$
17	0	CV		
21	0.0945	LINER1.9	$>0^b$	$>0^b$
32	0.208	Sy1.8	$0.0 \pm 0.1$	$4.5 \pm 0.3$
38	0.0624	Sy1	$1.15 \pm 0.07$	$0.0 \pm 0.6$

**Примечание.**  $A_{V,\text{Balm,BLR}}$  – бальмеровский декремент для области излучения широких линий,  $A_{V,\text{Balm,NLR}}$  – бальмеровский декремент для области излучения узких линий. а) Классификация и бальмеровский декремент основаны на результатах Брайтман и др. (2021). б) Широкая или узкая компонента линии H $\beta$  не регистрируется, а верхний предел на ее поток согласуется с нулевым поглощением. в) К оценке поглощения подходить с осторожностью, так как невозможно надежно разделить узкие и широкие компоненты линий H $\alpha$  и H $\beta$ .



**Рис. 2.** Спектры в системе покоя источников. Черными точками показаны фотометрические (PSF) измерения из обзора Pan-Starrs PS1 DR2. Используются данные телескопов БТА (БТА), СА125 (СМО), АЗТ-33ИК (АЗТ-33ИК) и РТТ-150 (РТТ-150). Для источника № 1 показан также спектр, полученный на телескопе Кека из работы Брайтман и др. (2021), умноженный на 1.4, чтобы облегчить сравнение со спектром БТА. Калибровка спектров источника № 10 на длинах волн выше  $\lambda > 6300$  может быть искажена из-за вклада второго порядка дифракционной решетки.



**Рис. 3.** Диаграмма ВРТ для объектов, в спектре которых присутствуют узкие эмиссионные линии. Кривые, разграничивающие области сейфертовских галактик (Seyfert), галактик типа LINER, галактик смешанного типа (Comp) и галактик с зонами НII взяты из работ Кауффман и др. (2003); Кьюли и др. (2001); Шавински и др. (2007). Квадратами показаны объекты, у которых обнаружены широкие компоненты бальмеровских линий водорода.

степенью ионизации, которые позволяют уверенно классифицировать объект как LINER.

**№ 6. SRGE J164147.7+700806.** Объект классифицируется как LINER 1.9. Есть слабое указание на присутствие в спектре широкой линии  $H\alpha$ , добавление которой в модель лишь незначительно улучшает качество аппроксимации.

**№ 10. SRGE J091935.9+753945.** Для описания профиля широких линий  $H\gamma$  и  $H\beta$  требуется двухкомпонентная модель, а узкие компоненты этих линий не удается надежно выделить.

**№ 17. SRGE J213946.2+113817.** Этот объект оказался катаклизмической переменной (CV) в нашей Галактике. В его спектре присутствуют бальмеровские линии водорода на  $z = 0$ . Источник не был отсеян нами при составлении выборки (Медведев и др., 2022), так как он недостаточно яркий в оптике, чтобы обсерватория Gaia могла зарегистрировать от него параллакс или собственное движение.

**№ 32. SRGE J124339.2+700515.** Запрещенная линия [OIII](5007) в спектре этой сейфертовской галактики типа 1.8 имеет сложный профиль, который может быть описан суммой двух гауссиан. Ширина одной из них ограничена спектральным разрешением (меньше 428 км/с). Вторая компонента (крыло) имеет ширину FWHM  $\approx 1400$  км/с и характеризуется сдви-

гом  $-1280 \pm 450$  км/с относительно более узкой компоненты.

## МАССЫ ЧЕРНЫХ ДЫР

В спектрах большинства рассматриваемых объектов присутствует широкие бальмеровские линии, что позволяет оценить массы центральных черных дыр, используя хорошо известное эмпирическое соотношение (Грин, Хо, 2005):

$$M_{\text{BH}} = (2.0^{+0.4}_{-0.3}) \times 10^6 \times \left( \frac{L_{H\alpha}}{10^{42} \text{ erg/s}} \right)^{0.55 \pm 0.02} \left[ \frac{\text{FWHM}(H\alpha)}{10^3 \text{ km/s}} \right]^{2.06 \pm 0.06}, \quad (1)$$

где  $L_{H\alpha}$  и FWHM – светимость и ширина линии  $H\alpha$  (широкой компоненты). При этом надо учесть, что поток в линии  $H\alpha$  может быть ослаблен из-за поглощения внутри объекта. Мы оценили это поглощение по бальмеровскому декременту, предполагая стандартные закон поглощения  $R_V = 3.1$  и кривую покраснения (Карделли и др., 1989), как в работе Грин, Хо (2005):

$$A_{V,\text{Balm}} = 7.2129[\log_{10}(F_{H\alpha}/F_{H\beta}) - \log_{10} B_0], \quad (2)$$

$$A(H\alpha) = 0.8177A_V,$$

где  $F_{H\alpha}$  и  $F_{H\beta}$  – измеренные потоки в соответствующих компонентах линий (широких или узких), а  $B_0$  – ожидаемый бальмеровский декремент в отсутствие поглощения, который мы полагаем равным 3.06, как характерно для АЯГ (Донг и др., 2008).

Полученные оценки величины поглощения для областей широких и узких эмиссионных линий,  $A_{V,\text{Balm,BLR}}$  и  $A_{V,\text{Balm,NLR}}$  соответственно, представлены в табл. 2. В спектрах трех сейфертовских галактик типа 1.9 (объекты №№ 4, 6 и 21) широкая компонента выявлена только у линии  $H\alpha$ , а у линии  $H\beta$  она не детектируется статистически значимо, поэтому для них приведены соответствующие нижние пределы на поглощение. В табл. 3 представлены исправленные за внутреннее поглощение оценки светимости в линии  $H\alpha$  и соответствующие оценки масс черных дыр, сделанные на основе соотношения 1. При измерении

**Таблица 3.** Оценки масс черных дыр

№	FWHM( $H\alpha$ ), км/с	$L_{H\alpha}$ , $\times 10^{42}$ эрг/с	$M_{\text{BH}}$ , $\log_{10} M_{\odot}$
4	$3597 \pm 204$	$>0.02$	$>6.5$
6	$2852 \pm 403$	$>0.03$	$>6.4$
8	$2772 \pm 100$	$11.09 \pm 0.19$	$7.79 \pm 0.10$
10	$2762 \pm 233$	$27.2 \pm 0.9$	$8.00 \pm 0.12$
21	$3740 \pm 221$	$>0.1$	$>6.9$
32	$3691 \pm 350$	$2.0 \pm 0.2$	$7.64 \pm 0.13$
38	$1903 \pm 106$	$1.02 \pm 0.06$	$6.89 \pm 0.10$

Таблица 4. Результаты спектрального анализа

Линия, континуум	$\lambda$ , Å	Поток, $\times 10^{-15}$ эрг/с/см <sup>2</sup>	EW, Å	FWHM <sub>fit</sub> , км/с	FWHM, км/с
№ 1. SRGE J143359.2+400636 2022/06/29 БТА					
H $\beta$	4861	<0.15	>-1.4		
[OIII]	4958	$0.18 \pm 0.02$	$-2.5 \pm 0.3$	$810 \pm 113$	>770
[OIII]	5007	$0.34 \pm 0.02$	$-4.7 \pm 0.3$	$509 \pm 30$	>770
[NII]	6548	$0.03 \pm 0.01$	$-0.5 \pm 0.2$		
H $\alpha$	6564	$0.42 \pm 0.02$	$-6.5 \pm 0.3$	$490 \pm 20$	>580
[NII]	6584	$0.40 \pm 0.02$	$-6.4 \pm 0.3$	$460 \pm 25$	>580
SII	6717	$0.13 \pm 0.01$	$-2.3 \pm 0.3$		
SII	6732	$0.17 \pm 0.02$	$-3.1 \pm 0.3$		
$F_{\lambda}^a$	5100	$0.074 \pm 0.004$			
№ 4. SRGE J122057.8+813600 2023/01/21 КГО					
H $\beta$ Broad	4861	<8	>-9		
H $\beta$	4861	$1.43 \pm 0.17$	$-1.6 \pm 0.2$		
[OIII]	4959	$8.6 \pm 0.3$	$-9.5 \pm 0.3$		
[OIII]	5007	$25.9 \pm 0.7$	$-28.2 \pm 0.5$	$400 \pm 5$	$345 \pm 203$
[NII]	6548	$4.2 \pm 0.2$	$-4.0 \pm 0.2$		
H $\alpha$ Broad <sup>b</sup>	6553	$13.6 \pm 0.8$	$-12.7 \pm 0.8$	$3600 \pm 170$	$3597 \pm 204$
H $\alpha$	6563	$9.4 \pm 0.2$	$-8.8 \pm 0.2$		
[NII]	6584	$14.7 \pm 0.3$	$-13.7 \pm 0.3$	$323 \pm 5$	$303 \pm 111$
$F_{\lambda}^a$	5100	$0.90 \pm 0.04$			
№ 6. SRGE J164147.7+700806 2023/01/16 КГО					
[OII]	3728	$1.74 \pm 0.09$	$-16.9 \pm 0.9$	$611 \pm 33$	$557 \pm 254$
H $\beta$ Broad	4861	<3	>-9		
H $\beta$	4861	<0.2	>-0.5		
[OIII]	4952	$0.50 \pm 0.10$	$-1.6 \pm 0.3$		
[OIII]	5004	$0.23 \pm 0.09$	$-0.7 \pm 0.3$	$874 \pm 186$	$854 \pm 263$
[OI]	6301	$0.55 \pm 0.07$	$-1.5 \pm 0.2$	$815 \pm 122$	$808 \pm 162$
Модель с широкой линией H $\alpha$					
[NII]	6550	$0.35 \pm 0.14$	$-0.9 \pm 0.4$		
H $\alpha$ Broad <sup>b</sup>	6563	$2.4 \pm 0.8$	$-6.5 \pm 2.1$	$2854 \pm 390$	$2852 \pm 403$
H $\alpha$	6565	$1.1 \pm 0.2$	$-2.8 \pm 0.5$		
[NII]	6585	$1.74 \pm 0.15$	$-4.7 \pm 0.4$	$694 \pm 37$	$687 \pm 109$
SII	6719	$1.19 \pm 0.09$	$-3.2 \pm 0.2$		
SII	6734	$0.91 \pm 0.09$	$-2.5 \pm 0.3$		
Модель без широкой линии H $\alpha$					
[NII]	6550	$0.87 \pm 0.08$	$-2.4 \pm 0.2$		
H $\alpha$	6565	$1.68 \pm 0.09$	$-4.5 \pm 0.2$		
[NII]	6585	$2.36 \pm 0.09$	$-6.4 \pm 0.2$	$770 \pm 24$	$763 \pm 105$
SII	6719	$1.19 \pm 0.09$	$-3.2 \pm 0.2$		
SII	6734	$0.91 \pm 0.09$	$-2.5 \pm 0.3$		
$F_{\lambda}^a$	5100	$0.30 \pm 0.02$			
№ 8. SRGE J025436.4+152545 2022/10/09 КГО					
H $\beta$ Broad <sup>c</sup>	4864	$99.9 \pm 0.7$	$-71.2 \pm 0.5$	$2939 \pm 16$	$2933 \pm 186$
H $\beta$ <sup>c</sup>	4862	$6.1 \pm 0.2$	$-4.33 \pm 0.15$		
[OIII] <sup>c</sup>	4959	$10.84 \pm 0.15$	$-7.51 \pm 0.11$		
[OIII] <sup>c</sup>	5007	$38.1 \pm 0.3$	$-27.82 \pm 0.19$	$384 \pm 2$	$336 \pm 186$

Таблица 4. Продолжение

Линия, континуум	$\lambda$ , Å	Поток, $\times 10^{-15}$ эрг/с/см <sup>2</sup>	EW, Å	FWHM <sub>fit</sub> , км/с	FWHM, км/с
H $\alpha$ Broad <sup>c</sup>	6565	346.6 $\pm$ 0.9	-278.8 $\pm$ 0.7	2774 $\pm$ 5	2772 $\pm$ 100
H $\alpha$ <sup>c</sup>	6563	31.8 $\pm$ 0.3	-25.6 $\pm$ 0.2		
[NII] <sup>c</sup>	6584	9.0 $\pm$ 0.3	-7.21 $\pm$ 0.19	429 $\pm$ 1	417 $\pm$ 100
$F_{\lambda}^a$	5100	1.20 $\pm$ 0.03			
№ 10. SRGE J091935.9+753945 2023/01/12 КГО					
H $\epsilon$ Broad	3970	2.71 $\pm$ 0.15	-1.88 $\pm$ 0.11	1250 $\pm$ 82	1243 $\pm$ 151
H $\delta$ Broad	4103	7.8 $\pm$ 0.2	-5.89 $\pm$ 0.16	2372 $\pm$ 70	2369 $\pm$ 141
H $\gamma$ Broad	4343	8.8 $\pm$ 0.2	-7.12 $\pm$ 0.18	1550 $\pm$ 49	1546 $\pm$ 126
H $\gamma$ Broad <sup>cd</sup>	4333	28.8 $\pm$ 0.8	-23.2 $\pm$ 0.6	7029 $\pm$ 143	7028 $\pm$ 184
H $\beta$ Broad <sup>e</sup>	4860	38.1 $\pm$ 1.3	-36.6 $\pm$ 1.3	3727 $\pm$ 81	3725 $\pm$ 107
H $\beta$ <sup>e</sup>	4861	18.0 $\pm$ 0.4	-17.3 $\pm$ 0.4	1103 $\pm$ 35	1100 $\pm$ 78
№ 10. SRGE J091935.9+753945 2023/01/16 БТА					
H $\alpha$ Broad	6558	25.4 $\pm$ 0.8	-111.8 $\pm$ 3.5	2772 $\pm$ 38	2762 $\pm$ 233
H $\alpha$	6563	15.3 $\pm$ 0.3	-68.5 $\pm$ 1.3	1050 $\pm$ 19	1024 $\pm$ 231
$F_{\lambda}^a$	5100	0.69 $\pm$ 0.03			
№ 10. SRGE J091935.9+753945 <sup>f</sup> 2023/02/12 ПТТ-150					
H $\alpha$ Broad	6556	115.8 $\pm$ 13.7	-211.3 $\pm$ 25.1	2229 $\pm$ 198	2223 $\pm$ 256
H $\alpha$	6564	11.7 $\pm$ 3.9	-21.3 $\pm$ 7.1	460 $\pm$ 188	431 $\pm$ 248
№ 17. SRGE J213946.2+113817 2022/12/27 ПТТ-150					
H $\beta$	4861	3.3 $\pm$ 0.4	-104 $\pm$ 12	1403 $\pm$ 174	1192 $\pm$ 760
HeI	5876	1.6 $\pm$ 0.4	-86 $\pm$ 20	1903 $\pm$ 504	1802 $\pm$ 793
H $\alpha$	6562	4.9 $\pm$ 0.2	-302 $\pm$ 15	1241 $\pm$ 64	1113 $\pm$ 552
№ 21. SRGE J175340.2+555128 2023/01/14 КГО					
[OII]	3728	0.55 $\pm$ 0.09	-6.0 $\pm$ 1.0	552 $\pm$ 110	413 $\pm$ 382
H $\beta$ Broad	4861	<3	>-14		
H $\beta$	4862	<0.4	>-2.4		
[OIII]	4957	0.17 $\pm$ 0.06	-1.0 $\pm$ 0.4		
[OIII]	5007	0.54 $\pm$ 0.07	-3.4 $\pm$ 0.5	464 $\pm$ 64	375 $\pm$ 280
[OI]	6301	<0.1	>-0.8		
H $\alpha$ Broad	6556	4.4 $\pm$ 0.3	-24.8 $\pm$ 1.4	3743 $\pm$ 163	3740 $\pm$ 221
H $\alpha$	6565	0.42 $\pm$ 0.05	-2.4 $\pm$ 0.3		
[NII]	6586	0.64 $\pm$ 0.04	-3.6 $\pm$ 0.3	333 $\pm$ 27	297 $\pm$ 152
$F_{\lambda}^a$	5100	0.15 $\pm$ 0.04			
№ 32. SRGE J124339.2+700515 2022/12/21 АЗТ-33ИК					
H $\beta$ Broad	4861	9.4 $\pm$ 1.0	-21 $\pm$ 2	3755 $\pm$ 329	3729 $\pm$ 548
H $\beta$	4862	3.6 $\pm$ 0.3	-7.8 $\pm$ 0.7		
[OIII]	4960	2.3 $\pm$ 0.2	-5.2 $\pm$ 0.5		
[OIII]	5008	8.5 $\pm$ 0.3	-19.5 $\pm$ 0.7	646 $\pm$ 21	<474
$F_{\lambda}^a$	5100	0.43 $\pm$ 0.03			
№ 32. SRGE J124339.2+700515 2023/01/19 БТА					
H $\beta$ Broad	4862	7.7 $\pm$ 0.3	-17.2 $\pm$ 0.6	2000 $\pm$ 59	1945 $\pm$ 470
H $\beta$	4861	1.24 $\pm$ 0.11	-2.8 $\pm$ 0.2		
[OIII]	4960	1.83 $\pm$ 0.07	-4.1 $\pm$ 0.2		
[OIII]	5008	4.80 $\pm$ 0.13	-10.7 $\pm$ 0.3	428 $\pm$ 11	<428
[OIII] Wing	5006	4.80 $\pm$ 0.35	-10.7 $\pm$ 0.8	1461 $\pm$ 66	1385 $\pm$ 471
[NII]	6548	6.13 $\pm$ 0.13	-22.1 $\pm$ 0.5		

Таблица 4. Окончание

Линия, континуум	$\lambda$ , Å	Поток, $\times 10^{-15}$ эрг/с/см <sup>2</sup>	EW, Å	FWHM <sub>fit</sub> , км/с	FWHM, км/с
H $\alpha$ Broad	6550	16.21 $\pm$ 0.44	-58.4 $\pm$ 1.6	3707 $\pm$ 57	3691 $\pm$ 350
H $\alpha$	6563	16.13 $\pm$ 0.13	-58.4 $\pm$ 0.5		
[NII]	6583	7.54 $\pm$ 0.10	-27.5 $\pm$ 0.4	686 $\pm$ 5	593 $\pm$ 345
SII	6716	0.52 $\pm$ 0.04	-2.1 $\pm$ 0.2		
SII	6731	0.40 $\pm$ 0.04	-1.6 $\pm$ 0.2		
$F_{\lambda}^a$	5100	0.39 $\pm$ 0.02			
№ 32. SRGE J124339.2+700515 2023/05/26 PTT-150					
[NII]	6548	5.7 $\pm$ 1.0	-18.4 $\pm$ 3.3		
H $\alpha$ Broad	6549	9 $\pm$ 3	-28 $\pm$ 11	3832 $\pm$ 928	3828 $\pm$ 946
H $\alpha$	6563	15.4 $\pm$ 0.9	-50.1 $\pm$ 3.1		
[NII]	6584	7.4 $\pm$ 0.8	-24 $\pm$ 3	730 $\pm$ 42	707 $\pm$ 186
№ 38. SRGE J163016.2+584247 2023/01/16 КГО					
H $\beta$ Broad	4861	10.86 $\pm$ 0.25	-30.2 $\pm$ 0.7	2098 $\pm$ 40	2089 $\pm$ 196
H $\beta$	4861	0.55 $\pm$ 0.10	-1.6 $\pm$ 0.3		
[OIII]	4959	0.51 $\pm$ 0.05	-1.2 $\pm$ 0.2		
[OIII]	5007	2.00 $\pm$ 0.07	-5.4 $\pm$ 0.2	430 $\pm$ 16	384 $\pm$ 194
[NII]	6548	0.12 $\pm$ 0.07	-0.3 $\pm$ 0.2		
H $\alpha$ Broad	6563	48.4 $\pm$ 0.3	-135.3 $\pm$ 0.9	1906 $\pm$ 8	1903 $\pm$ 106
H $\alpha$	6563	1.29 $\pm$ 0.08	-3.6 $\pm$ 0.2		
[NII]	6584	0.61 $\pm$ 0.06	-1.7 $\pm$ 0.2	291 $\pm$ 18	271 $\pm$ 107
$F_{\lambda}^a$	5100	0.33 $\pm$ 0.01			

**Примечание.** а) Плотность потока в континууме приведена в единицах  $10^{-15}$  эрг/с/см<sup>2</sup>/Å. б) Надежность измерения характеристик широкой линии вызывает сомнения из-за возможного влияния формы континуума. в) Профиль линии сильно отличается от гауссианы. г) Дополнительная компонента, необходимая для описания уширения в основании линии. е) Широкая линия H $\beta$  не полностью попадает в рабочую область спектрографа. Для расчета  $2\sigma$  верхнего предела на поток ее ширина была зафиксирована на ширине широкой компоненты линии H $\alpha$ . ф) калибровка по потоку в красной области может быть завышенной из-за вклада второго порядка стандарта.

Положение пиков линий в колонке  $\lambda$ , определяется как результат подгонки моделью гауссовой функции соответствующих линий, смещенных в систему покоя квазара (см. раздел “Выборка объектов и их оптические наблюдения”). Потоки поправлены за поглощение нашей Галактики.

$M_{BH}$  учтены ошибки, связанные с измерением потоков и ширин линий, а также систематическая погрешность, связанная с дисперсией эмпирического соотношения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нам удалось отождествить девять объектов из выборки экстремально переменных рентгеновских источников, обнаруженных в ходе обзора всего неба телескопа eROZITA орбитальной обсерватории SRG, от которых было обнаружено рентгеновское излучение как в ярком, так и в тусклом состоянии (Медведев и др., 2022). Из них один оказался катаклизмической переменной в нашей галактике, а еще один уже был известен ранее как событие приливного разрушения (и классифицируется как LINER). Остальные семь оказались АЯГ на красных смещениях от 0.035 до 0.523 (три Sy1, один Sy1.8, один Sy1.9 и три

LINER 1.9). Для четырех АЯГ была оценена масса центральной черной дыры по ширине и светимости широкой компоненты линии H $\alpha$ . Эти черные дыры оказались умеренно массивными: от  $\sim 8 \times 10^6$  до  $\sim 10^8 M_{\odot}$ . Еще для трех объектов получены нижние пределы на массу черной дыры. В этой связи стоит отметить, что в недавнем исследовании большой выборки АЯГ по данным обзора всего неба SRG/eROZITA была выявлена тенденция увеличения характерной амплитуды рентгеновской переменности (на масштабах времени нескольких лет) с уменьшением массы черной дыры (Прохоренко и др., 2024).

В результате этого исследования, а также аналогичной работы по отождествлению еще четырех объектов на телескопе Хейла Паломарской обсерватории (готовится к публикации), нам удалось отождествить всю выборку Медведев и др. (2022). В дальнейшем мы планируем подробно исследовать физические свойства этой статистически полной выборки, включая мас-

сы черных дыр, темпы аккреции, соотношения между потоками излучения в разных диапазонах длин волн, связь между переменностью в рентгене и оптике.

Исследование было проведено при поддержке гранта Минобрнауки 075-15-2024-647. Наблюдения на телескопах САО РАН выполняются при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Обновление приборной базы осуществляется в рамках национального проекта “Наука и университеты”. Наблюдения на телескопе АЗТ-33ИК выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России. Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования “Ангара” <http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>. Авторы благодарны ТЮБИТАК, ИКИ РАН, КФУ и АН РТ за частичную поддержку в использовании РТТ-150 (Российско-Турецкий 1.5-м телескоп в Анталии). Данное исследование основано на наблюдениях телескопа eРОЗИТА на борту обсерватории СРГ. Обсерватория СРГ 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 СРГ/eРОЗИТА изготовлен консорциумом германских институтов во главе с Институтом внеземной астрофизики Общества им. Макса Планка (МРЕ) при поддержке DLR. Космический аппарат СРГ 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.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афанасьев и др. (V.L. Afanasiev, S.N. Dodonov, V.R. Amirkhanyan and A.V. Moiseev), *Astrophysical Bulletin* **71(4)**, 479 (2016).
- Афанасьев и Моисеев (V.L. Afanasiev and A.V. Moiseev), *Baltic Astronomy* **20**, 363 (2011).
- Афанасьева и др. (I. Afanasieva, V. Murzin, V. Ardilanov, N. Ivaschenko, M. Pritychenko, et al.), *Photonics* **10(7)**, 774 (2023).
- Болдуин и др. (J.A. Baldwin, M.M. Phillips and R. Terlevich), *PASP* **93**, 5 (1981).
- Брайтман и др. (M. Brightman, C. Ward, D. Stern, K. Mooley, K. De, S. Gezari, et al.), *Astrophys. J.* **909(2)**, 102 (2021).
- Буренин и др. (R.A. Burenin, A.L. Amvrosov, M.V. Eseevich, V.M. Grigor'ev, V.A. Aref'ev, V.S. Vorob'ev, et al.), *Astronomy Letters* **42(5)**, 295 (2016).
- Верон-Сетти и др. (M.P. Véron-Cetty, P.Véron and A.C. Goncalves), *Astronomy Astrophysics* **372(3)**, 730 (2001).
- Гинзбург и др. (A. Ginsburg, V. Sokolov, M. de Val-Borro, E. Rosolowsky, J.E. Pineda, B.M. Sipocz, et al.), *Astron. J.* **163(6)**, 291 (2022).
- Гордон и др. (K. Gordon), *The Journal of Open Source Software* **9(100)**, 7023 (2024).
- Грин и др. (G.M. Green), *The Journal of Open Source Software* **3(26)**, 695 (2018).
- Грин, Хо (J.E. Greene and L.C. Ho), *Astrophys. J.* **630(1)**, 122 (2005).
- Додин и др. (A.V. Dodin, N.I. Shatsky, A.A. Belinski, K.E. Atapin, M.A. Burlak, S.G. Zheltoukhov et al.), *Astronomy Letters* **47(10)**, 661 (2021).
- Донг и др. (X. Dong, T. Wang, J. Wang, W. Yuan, H. Zhou, H. Dai, et al.), *MNRAS* **383(2)**, 581 (2008).
- Карделли и др. (J.A. Cardelli, G.C. Clayton and J.S. Mathis), *Astrophys. J.* **345**, 245 (1989).
- Кауффман и др. (G. Kauffmann, T.M. Heckman, C. Tremonti, J. Brinchmann, S. Charlot, S.D.M. White, et al.), *MNRAS* **346(4)**, 1055 (2003).
- Кьюли и др. (L.J. Kewley, M.A. Dopita, R.S. Sutherland, C.A. Heisler and J. Trevena), *Astrophys. J.* **556(1)**, 121 (2001).
- Кьюли и др. (L.J. Kewley, B. Groves, G. Kauffmann and T. Heckman), *MNRAS* **372(3)**, 961 (2006).
- Медведев и др. (P.S. Medvedev, M.R. Gilfanov, S.Y. Sazonov, R.A. Sunyaev and G.A. Khorunzhev), *Astronomy Letters* **48(12)**, 735 (2022).
- Остерброк (D.E. Osterbrock), *The Astrophysical Journal* **249**, 462 (1981).
- Потанин и др. (S.A. Potanin, A.A. Belinski, A.V. Dodin, S.G. Zheltoukhov, V.Y. Lander, K.A. Postnov, et al.), *Astronomy Letters* **46(12)**, 836 (2020).
- Предель и др. (P. Predehl, R. Andritschke, V. Arefiev, V. Babyshkin, O. Batanov, W. Becker, et al.), *Astron Astrophys.* **647**, A1 (2021).
- Прохоренко и др. (S.A. Prokhorenko, S.Y. Sazonov, M.R. Gilfanov, S.A. Balashev, I.F. Bikmaev, A.V. Ivanchik, et al.), *MNRAS* **528(4)**, 5972 (2024).
- Сообщество Астропи и др. (Astropy Collaboration, T.P. Robitaille, E.J. Tollerud, P. Greenfield, M. Droettboom, E. Bray, et al.), *Astron Astrophys.* **558**, A33 (2013).
- Сюняев и др. (R. Sunyaev, V. Arefiev, V. Babyshkin, A. Bogomolov, K. Borisov, M. Buntov, et al.), *Astron Astrophys.* **656**, A132 (2021).
- Фитцпатрик и др. (E.L. Fitzpatrick, D. Massa, K.D. Gordon, R. Bohlin and G.C. Clayton), *Astrophys. J.* **886(2)**, 108 (2019).
- Флювеллинг и др. (H.A. Flewelling, E.A. Magnier, K.C. Chambers, J.N. Heasley, C. Holmberg, M.E. Huber, et al.), *The Astrophysical Journal Supplement Series* **251(1)**, 7 (2020).
- Хабибуллин и др. (I. Khabibullin, R. Sunyaev, E. Churazov, M. Gilfanov, P. Medvedev and S. Sazonov), *The Astronomer's Telegram* **13494**, 1 (2020).
- Чамберс и др. (K.C. Chambers, E.A. Magnier, N. Metcalfe, H.A. Flewelling, M.E. Huber, C.Z. Waters, et al.), arXiv 1612.05560 (2016).
- Шавински и др. (K. Schawinski, D. Thomas, M. Sarzi, C. Maraston, S. Kaviraj, S.-J. Joo, et al.), *MNRAS* **382(4)**, 1415 (2007).
- Шлегель и др. (D.J. Schlegel, D.P. Finkbeiner and M. Davis), *Astrophys. J.* **500(2)**, 525 (1998).