

НОВЫЕ АКТИВНЫЕ ЯДРА ГАЛАКТИК, ОБНАРУЖЕННЫЕ ТЕЛЕСКОПАМИ ART-XC И ЕРОЗИТА В ХОДЕ ПЕРВЫХ ПЯТИ РЕНТГЕНОВСКИХ ОБЗОРОВ ВСЕГО НЕБА ОБСЕРВАТОРИИ СРГ. ЧАСТЬ 2

© 2024 г. Г. С. Усков^{1*}, С. Ю. Сазонов¹, И. А. Зазнобин¹, М. Р. Гильфанов^{1,2}, Р. А. Буренин¹, Е. В. Филиппова¹,
П. С. Медведев¹, А. В. Москалева¹, Р. А. Сюняев^{1,2}, Р. А. Кривонос¹, М. В. Еселевич³

¹Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

²Институт астрофизики общества им. Макса Планка, Гархинг, Германия

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

Поступила в редакцию: 28.09.2023 г.

После доработки 29.03.2024 г.; принята к публикации 29.03.2024 г.

Представлены результаты отождествления 11 рентгеновских источников, обнаруженных на половине неба $0^\circ < l < 180^\circ$ в диапазоне энергий 4–12 кэВ на суммарной карте первых пяти обзоров всего неба телескопа ART-XC им. М. Н. Павлинского орбитальной обсерватории СРГ. Все эти источники были задетектированы также телескопом СРГ/еРОЗИТА в диапазоне энергий 0.2–8.0 кэВ, данные которого позволили уточнить их положения и исследовать их рентгеновские спектры. Из них пять обнаружены в рентгене впервые, а остальные уже были известны ранее, однако их природа оставалась неизвестной. На 1.6-м телескопе АЗТ-33ИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН были получены оптические спектры девяти источников, еще для двух объектов были проанализированы архивные спектры из обзоров SDSS и 6dF. Объекты классифицированы как сейфертовские галактики (7 – Sy1, 3 – Sy1.9, 1 – Sy2) на красных смещениях $z = 0.029–0.258$. Анализ рентгеновских спектров позволил выявить у двух из четырех сейфертовских галактик второго типа (Sy1.9–2) заметное внутреннее поглощение ($N_H \sim 10^{22} \text{ см}^{-2}$). Спектр еще одной из них (SRGA J000132.9+240237) не удается описать в рамках модели поглощенного комптонизационного континуума, что, возможно, указывает на сильное поглощение и значительный вклад отраженного излучения. Однако имеющихся данных обзора всего неба СРГ недостаточно для того, что получить надежные ограничения на колонку поглощения в этом объекте, который интересен еще и тем, что является радиогромким. Для уточнения физических свойств этого АЯГ требуются более продолжительные рентгеновские наблюдения.

Ключевые слова: активные ядра галактик, обзоры неба, оптические наблюдения, красные смещения, рентгеновские наблюдения.

DOI: 10.31857/S0320010824050033, EDN: MYINKY

1. ВВЕДЕНИЕ

С декабря 2019 по март 2022 года рентгеновские телескопы еРОЗИТА (Предель и др., 2021) и ART-XC им. М. Н. Павлинского (Павлинский и др., 2021) на борту обсерватории СРГ (Сюняев и др., 2021) провели четыре полных и около 40% пятого обзора всего неба. Затем телескоп ART-XC в течение полутора лет проводил глубокий обзор плоскости и центральной части Галактики, а недавно (в октябре 2023 г.) возобновил сканирование всего неба.¹

По мере накопления и обработки данных регулярно обновляются каталоги источников, зарегистрированных телескопами ART-XC и еРОЗИТА в ходе обзора всего неба. Первый официальный каталог источников, зарегистрированных телескопом ART-XC, был составлен по данным первых двух обзоров (Павлин-

ский и др., 2022), а недавно был выпущен второй официальный каталог источников ART-XC, в который вошли данные первых четырех и неполного пятого обзоров (ARTSS1–5, Сазонов и др., 2024). Для регистрации источников в обзоре всего неба СРГ/ART-XC используется диапазон энергий 4–12 кэВ. Рабочий диапазон телескопа еРОЗИТА составляет 0.2–8.0 кэВ, а детектирование источников и построение каталогов еРОЗИТА производится в нескольких поддиапазонах этого диапазона.

Из-за формы типичных спектров рентгеновских источников, как правило спадающих с энергией выше $\sim 2–3$ кэВ по степенному или даже экспоненциальному закону и в силу меньшей — по объективным причинам, эффективной площади рентгеновских телескопов, работающих на энергиях ~ 10 кэВ, число источников в каталогах еРОЗИТА и ART-XC значительно различается: каталог еРОЗИТА в диапазоне 0.2–2.3 кэВ на всем небе включает порядка

*Электронный адрес: uskov@cosmos.ru

¹Телескоп еРОЗИТА находится в спящем режиме с 26 февраля 2022 г.

4 миллиона источников, а каталог ART-XC в диапазоне 4–12 кэВ — около 1500 источников. Относительная компактность каталога ART-XC позволяет поставить задачу об отождествлении и индивидуальном исследовании всех источников, входящих в него (или тех, что были ранее неизвестны). Для каталога ePOЗИТА такая задача потребовала бы нереалистичных усилий и, с другой стороны, не является необходимой, т.к. каталоги такого большого размера исследуются другими методами.

Данная статья входит в серию публикаций, посвященных отождествлению источников, зарегистрированных в ходе обзора всего неба телескопом ART-XC. Все источники, исследуемые в данной работе, как и в других статьях этой серии, присутствуют и в каталоге обзора всего неба ePOЗИТА. Они обратили на себя наше внимание благодаря их наличию в каталоге ART-XC, что могло свидетельствовать об их большой яркости в целом либо о жесткости их спектра. Данные ePOЗИТА позволили уточнить область локализации этих источников и предоставили спектральную информацию в диапазоне 0.2–8.0 кэВ. Большинство из анализируемых источников являются достаточно яркими для телескопа ePOЗИТА, что позволило детально исследовать поведение их спектров в мягком рентгеновском диапазоне.

Работа по оптическому отождествлению источников, регистрируемых телескопом ART-XC, началась сразу же после начала обзора всего неба. Эта спектроскопическая программа проводится с помощью 1.6-м телескопа АЗТ-33ИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН и 1.5-м Российско-турецкого телескопа (РТТ-150) Национальной обсерватории TÜBİTAK, которые входят в комплекс наземной поддержки обсерватории СРГ. Мишенями наблюдений являются как рентгеновские источники, открываемые телескопом ART-XC, так и ранее известные рентгеновские источники, природа которых до сих пор оставалась неизвестной. В ходе выполнения этой программы нам уже удалось отождествить и классифицировать более 50 активных ядер галактик (АЯГ) и несколько катаклизмических переменных (КП). Часть полученных результатов была представлена в работах (Зазнобин и др., 2021; Усков и др., 2022; Зазнобин и др., 2022; Усков и др., 2023). Кроме того, в ходе обзора неба СРГ/ART-XC были открыты и затем отождествлено несколько рентгеновских двойных систем с нейтронными звездами и черными дырами (Лутовинов и др., 2022; Мереминский и др., 2022).

В настоящей работе представлены результаты оптического отождествления и классификации очередных 11 АЯГ из каталога ARTSS1-5. Все они находятся на половине неба $0^\circ < l < 180^\circ$ и были зарегистрированы в ходе обзора всего неба обсерватории СРГ не только телескопом ART-XC, но и телескопом ePO-

ЗИТА. Это позволило построить рентгеновские спектры этих источников в широком диапазоне энергий 0.2–20.0 кэВ и измерить их внутреннее поглощение. Для расчета светимостей в статье используется модель плоской Вселенной с параметрами $H_0 = 70$, $\Omega_m = 0.3$.

2. ВЫБОРКА ОБЪЕКТОВ

Выборку составили объекты из каталога источников, зарегистрированных в диапазоне энергий 4–12 кэВ на суммарной карте первых ~ 4.4 обзоров неба (с 12 декабря 2019 г. по 7 марта 2022 г.) телескопа ART-XC им. М. Н. Павлинского обсерватории СРГ (каталог ARTSS1-5, Сазонов и др. 2024). Рассматривались только источники, расположенные на половине неба $0^\circ < l < 180^\circ$, для которой у нас имеются также данные телескопа СРГ/ePOЗИТА. Всего в данную выборку вошло 11 кандидатов в АЯГ.

В табл. 1 для всех объектов приведены: названия рентгеновского источника по данным ART-XC и ePOЗИТА, соответствующие радиусы областей локализации на уровне достоверности 98% (R_a , R_e), поток в диапазоне энергий 4–12 кэВ по данным ART-XC и название орбитальной обсерватории, впервые обнаружившей источник в рентгеновском диапазоне. Пять источников были впервые зарегистрированы в рентгене с помощью телескопов ART-XC и ePOЗИТА обсерватории СРГ.

На рис. 1 показаны оптические изображения объектов, на которые наложены области локализации рентгеновских источников по данным ART-XC и ePOЗИТА. С каждым рентгеновским источником можно однозначно связать определенный оптический компаньон. Все эти объекты были классифицированы в каталоге ARTSS1-5 как кандидаты в АЯГ на основе имеющихся архивных данных (в основном фотометрических), таких как протяженность оптического изображения, характерный инфракрасный (ИК) цвет и наличие радиоизлучения. Отметим, что в случае источника SRGA J195226.6+380011 оптический партнер находится в $4.8''$ за пределами радиуса локализации $R_a = 19.0$ телескопа ART-XC, что, вероятно, связано с систематической погрешностью астрометрии каталога ARTSS1-5, которая оценивается на уровне $\sim 7''$ (Сазонов и др., 2024).

В табл. 2 собрана информация о свойствах исследуемых объектов в оптическом, ИК и радио диапазонах, а именно координаты оптического партнера, инфракрасный цвет $W1 - W2$ по данным каталога ALLWISE (Катри и др., 2021) и поток радиоизлучения на длине волны 1.4 ГГц или в полосе 2–4 ГГц, если источник присутствует в каталоге обзора NVSS (Кондон и др., 1998) или в каталоге обзора VLASS (Кондон и др., 2021) соответственно. У всех объектов за исключением SRGA J023800.1+193818 $W1 - W2 > 0.5$. Это указывает на вероятную активность ядра галакти-

Таблица 1. Выборка рентгеновских источников

№	Источник ART-XC	R_a	F_A^{4-12}	Источник ePOZITA	R_e	Открыт
1	SRGA J000132.9+240237	21.1	4.0 ± 1.4	SRGe J000132.4+240229	8.5	CPГ
2	SRGA J001059.5+424341	19.6	2.4 ± 0.8	SRGe J001059.5+424351	2.4	CPГ
3	SRGA J023800.1+193818	26.7	3.3 ± 1.2	SRGe J023800.0+193811	2.3	ROSAT
4	SRGA J025900.3+502958	24.1	3.4 ± 1.1	SRGe J025901.0+503013	2.4	CPГ
5	SRGA J040335.6+472440	23.3	3.2 ± 1.1	SRGe J040336.4+472439	5.0	ROSAT
6	SRGA J165143.2+532539	15.8	1.4 ± 0.4	SRGe J165144.1+532539	2.2	Einstein
7	SRGA J181749.5+234311	17.1	5.8 ± 1.6	SRGe J181749.1+234313	3.0	CPГ
8	SRGA J191628.1+711619	17.1	1.1 ± 0.3	SRGe J191629.4+711614	2.1	ROSAT
9	SRGA J194412.5–243619	20.0	5.7 ± 1.9	SRGe J194412.5–243623	3.4	XMM
10	SRGA J195226.6+380011	19.0	4.3 ± 1.4	SRGe J195225.4+380028	2.5	ROSAT
11	SRGA J201633.2+705525	18.8	1.1 ± 0.3	SRGe J201632.4+705525	2.3	CPГ

Столбец 1: порядковый номер источника в исследуемой выборке.

Столбец 2: название источника в каталоге ARTSS1-5.

Столбец 3: радиус 98%-области локализации ART-XC в угловых секундах.

Столбец 4: поток в диапазоне 4–12 кэВ по данным телескопа ART-XC в единицах 10^{-12} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$.

Столбец 5: название источника в каталоге ePOZITA.

Столбец 6: радиус 98%-области локализации ePOZITA в угловых секундах.

Столбец 7: орбитальная обсерватория, впервые обнаружившая рентгеновский источник.

ки, связанную с аккрецией вещества на сверхмассивную черную дыру (Стерн и др., 2012). Нехарактерный для АЯГ ИК цвет SRGA J023800.1+193818 связан, по всей видимости, с низкой светимостью активного ядра этой галактики, как обсуждается далее в разделе “Комментарии по объектам”. У пяти объектов регистрируется радиоизлучение, причем SRGA J000132.9+240237 является мощным радиоисточником.

3. ОПТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Оптические наблюдения объектов проводились в 2023 году на 1.6-м телескопе АЗТ-33ИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН с помощью спектрографа низкого и среднего разрешения АДАМ (Афанасьев и др., 2016; Буренин и др., 2016). В табл. 3 представлен журнал наблюдений.

Наблюдения проводились с использованием длинной щели шириной $2''$ и позиционным углом 0° . В качестве диспергирующего элемента спектрографа использовались две объемные фазовые голографические решетки (гризмы): VPHG600G, со спектральным диапазоном $3800\text{--}7250 \text{ \AA}$ и разрешением $R \approx 900$, и VPHG600R, со спектральным диапазоном $6450\text{--}10000 \text{ \AA}$ и разрешением $R \approx 1300$. Для каждого источника сначала проводились наблюдения с помощью гризмы VPHG600G, а если после получения спектроскопических изображений или после обработки спектров оказывалось, что длина волны линии излучения H_α находится вне спектрального диапазона VPHG600G, то проводились еще и наблюдения с помощью гризмы VPHG600R. Для наблюдений источника SRGA J195226.6+380011 использовалась только гризма VPHG600R.

Наблюдения проводились при качестве прямых изображений не хуже $2.5''$. Наблюдения спектрофотометрических стандартов проводилось в вечерние и утренние сумерки каждую наблюдательную ночь. Использовался список стандартов с сайта Европейской южной обсерватории². После получения серии спектроскопических изображений каждого источника снимались 2–3 изображения калибровочных ламп линейчатого и непрерывного спектра. Обработка проводилась при помощи пакета PyRAF³ и собственного ПО. Спектры каждого объекта поправлялись за межзвездное поглощение (Кардели и др., 1989). Избыток цвета $E(B-V)$ рассчитывался при помощи ПО сайта GALExtin⁴. Использовались карта покраснения пыли из работы Шлафлай и др. (2014) и коэффициент $R_v = 2.742$ из работы Шлафлай и Финкбейнер (2011).

Для двух объектов, SRGA J000132.9+240237 и SRGA J194412.5–243619, мы не проводили оптических наблюдений, так как по ним уже имелись архивные данные спектроскопии, полученные в ходе обзоров SDSS (Ахумада и др., 2020) и 6dF (Джонс и др., 2009) соответственно. Мы провели спектральную классификацию на основе этих данных. Обзор SDSS проводился на 2.5-м широкоугольном телескопе обсерватории Апачи-Пойнт с помощью двух оптоволоконных спектрографа BOSS с двумя камерами с перекрывающимися спектральными диапазонами $3600\text{--}6350 \text{ \AA}$ (B) и $5650\text{--}10000 \text{ \AA}$ (R). Обзор 6dF проводился на 1.2-м телескопе Шмидта

²<https://www.eso.org/sci/observing/tools/standards/spectra/stanlis.html>

³<https://iraf-community.github.io/pyraf.html>

⁴<http://www.galexlin.org/>

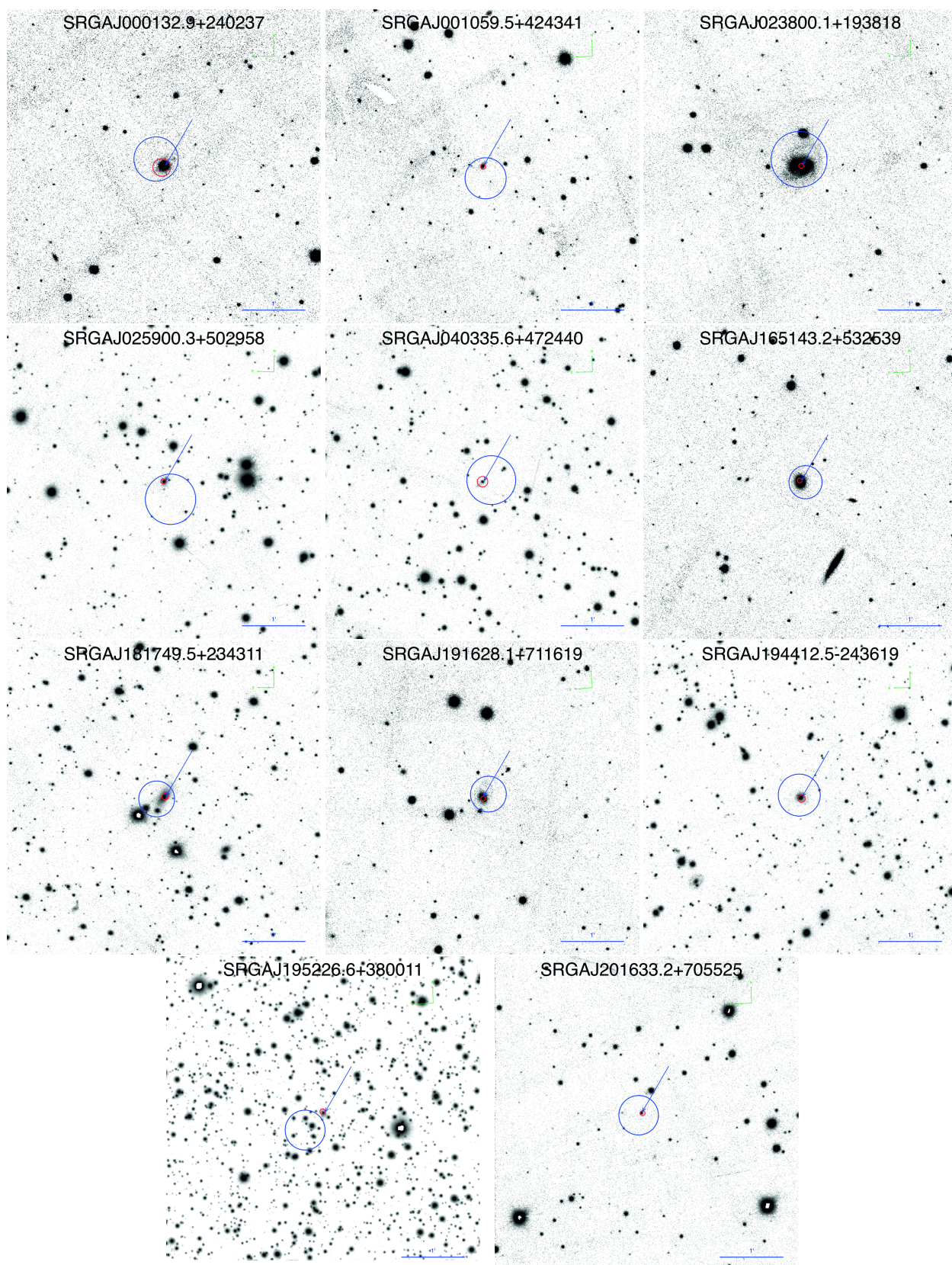


Рис. 1. Оптические изображения в фильтре g из обзора PanSTARRS PS1 (Чамберс и др., 2016). Большими и маленькими кружками показаны области локализации рентгеновских источников телескопами ART-XC и eROSITA (см. значения R_a и R_c в табл. 1). Стрелками показаны оптические объекты, спектры которых исследуются в статье. Горизонтальная линия соответствует $1'$.

Таблица 2. Многоволновые свойства объектов

№	Компаньон		α	δ	$W1 - W2$	Радио
1	2MASX J00013232+2402304 NVSS J000132+240231	=	0.38474	24.04177	0.86 ± 0.03	359 ± 11 (1.4 ГГц)
2	WISEA J001059.72+424352.8		2.74883	42.73133	0.71 ± 0.05	
3	2MASS J02375999+1938118		39.50000	19.63661	0.11 ± 0.03	
4	LEDA 2374943 VLASS1QLCIR J025900.99+503014.6	=	44.75421	50.50408	0.79 ± 0.03	1.6 ± 0.3 (2—4 ГГц)
5	2MASS J04033641+4724383		60.90171	47.41070	0.94 ± 0.03	
6	SBS 1650+535 NVSS 165143+532538	=	252.93225	53.42772	0.75 ± 0.03	3.9 ± 0.4 (1.4 ГГц)
7	LEDA 1692433 NVSS 181749+234313	=	274.45412	23.72019	0.65 ± 0.03	8.4 ± 0.5 (1.4 ГГц)
8	WISEA J191629.25+711616.4		289.12188	71.27122	0.59 ± 0.03	
9	2MASX J19441243—2436217 NVSS J194412—243622	=	296.05168	—24.60590	1.06 ± 0.03	5.9 ± 0.5 (1.4 ГГц)
10	2MASS J19522509+3800269		298.10454	38.00748	0.88 ± 0.03	
11	WISEA J201632.61+705527.2		304.13587	70.92422	1.04 ± 0.03	

Столбец 1: порядковый номер источника в исследуемой выборке.

Столбец 2: оптический/ИК/радио компаньон.

Столбцы 3 и 4: координаты оптического компаньона (J2000.0).

Столбец 5: ИК цвет.

Столбец 6: спектральная плотность потока радиоизлучения в Ян.

Таблица 3. Журнал оптических наблюдений

№	Источник ART-XC	Дата	Гризма	Экспозиция, с
1	SRGA J000132.9+240237*	2013-09-08	Канал В	4×3600
		2013-09-08	Канал R	4×3600
2	SRGA J001059.5+424341	2023-11-09	VPHG600G	4×600
		2023-11-09	VPHG600R	4×600
3	SRGA J023800.1+193818	2023-11-08	VPHG600G	3×600
4	SRGA J025900.3+502958	2023-09-19	VPHG600G	4×300
		2023-09-19	VPHG600R	3×300
5	SRGA J040335.6+472440	2023-11-13	VPHG600G	4×600
6	SRGA J165143.2+532539	2023-04-13	VPHG600G	4×300
7	SRGA J181749.5+234311	2023-05-19	VPHG600G	4×300
8	SRGA J191628.1+711619	2023-04-13	VPHG600G	4×600
9	SRGA J194412.5–243619+	2003-08-04	V	6×1200
		2003-08-04	R	5×600
10	SRGA J195226.6+380011	2023-11-09	VPHG600R	4×600
11	SRGA J201633.2+705525	2023-11-09	VPHG600G	5×600

* – обзор SDSS, + – обзор 6dF.

UKST с помощью многоволоконного спектрографа с полем зрения 5.7° , оснащенного двумя решетками низкого разрешения $R \approx 1000$ с перекрывающимися спектральными диапазонами (V и R). При этом был полностью покрыт диапазон 4 000–7 500 Å. Спектры из обзора 6dF не откалиброваны по потоку и представлены в отсчетах, что не позволяет измерять абсолютные потоки эмиссионных линий. Однако эти данные могут использоваться для оценки эквивалентной ширины линий и соотношения

потоков в парах близко расположенных линий, чего достаточно для классификации АЯГ.

4. РЕНТГЕНОВСКИЕ ДАННЫЕ

В зависимости от своего положения на небе исследуемые источники сканировались телескопами ePOZITA и ART-XC четыре или пять раз (3 и 7 источников соответственно), с интервалом в полгода. Источник SRGA J040335.6+472440 наблюдался пять раз телескопом ART-XC, но во время пятого прохода (27 февраля

— 5 марта 2022 г.) телескоп ePOZITA был выключен. По совокупности данных всех сканов были построены спектры источников в широком диапазоне энергий 0.2–20.0 кэВ.

Данные телескопа ePOZITA были обработаны с помощью созданной и поддерживаемой в ИКИ РАН системы калибровки и обработки данных, использующей элементы пакета eSASS (eROSITA Science Analysis Software System) и ПО, разработанного в научной группе по рентгеновскому каталогу Российского консорциума телескопа ePOZITA. Спектры источников извлекались в круге радиусом 60'', а спектры фона — в кольце с внутренним радиусом 120'' и внешним радиусом 300'' вокруг источника. Если в область фона попадали другие источники, исключались фотоны в области радиусом 40'' вокруг них. Спектры извлекались по данным всех семи модулей телескопа в диапазоне 0.2–9.0 кэВ. При аппроксимации спектров данные группировались таким образом, чтобы в каждом энергетическом канале было не менее 3 отсчетов.

Для построения спектров источников по данным телескопа ART-XC использовались отсчеты, собранные в трех широких диапазонах энергий 4–7, 7–12 и 12–20 кэВ из области радиусом 71'' (в которой концентрируется 90% фотонов от источника во время обзора неба). Данные со всех семи модулей телескопа были объединены. В спектральном анализе использовалась диагональная матрица отклика, построенная по данным наблюдений Крабовидной туманности. Уровень фона оценивался с использованием данных в жестком диапазоне 30–70 кэВ и карты вейвлет-разложения изображений обзора (см. Сазонов и др., 2024).

5. РЕЗУЛЬТАТЫ

5.1. Оптические спектры

На рис. 2 показаны оптические спектры исследуемых объектов.

Для классификации сейфертовских галактик использовались стандартные критерии, основанные на соотношении потоков в эмиссионных линиях (Остерброк, 1981; Верон-Сетти и др., 2001). Спектральный континуум аппроксимировался полиномом, а эмиссионные линии — гауссианами. Таким образом для каждой линии определялись: центральная длина волны, ширина на полувысоте $FWHM_{mes}$, поток и эквивалентная ширина EW . Ширина широких балмеровских линий поправлялась на спектральное разрешение прибора: $FWHM = \sqrt{FWHM_{mes}^2 - FWHM_{res}^2}$, где $FWHM_{res}$ определялось для каждого диспергирующего элемента и для каждой щели как ширина на полувысоте линий в спектре калибровочных ламп.

В табл. 7 представлены измеренные характеристики линий для всех источников. Погрешности при-

ведены на уровне достоверности 68%. Доверительный интервал красного смещения определялся как погрешность среднего красного смещения узких линий. Измеренные ширины узких эмиссионных линий согласуются с приборным уширением, поэтому для них значения $FWHM$ не приводятся. Доверительные интервалы на эквивалентные ширины (EW) линий получались с помощью метода Монте-Карло. Предполагая, что ошибки на поток подчиняются нормальному распределению, были разыграны 1 000 реализаций спектра. Затем, для каждой из реализаций оценивалась EW . По полученному распределению EW были оценены доверительные интервалы. Для получения верхнего предела на поток в линии фиксировался центр гауссианы, а ее ширина принималась равной приборному уширению.

Результаты классификации источников и измеренные красные смещения приведены в табл. 5.

5.2. Рентгеновские спектры

Моделирование спектров проводилось только по данным телескопа ePOZITA, данные телескопа ART-XC при этом не использовались. Это связано с тем, что источники были отобраны по значимости детектирования в обзоре всего неба телескопа ART-XC, и те же данные обзора (т.е. всего лишь ~ 10 отсчетов от каждого источника) рассматриваются здесь. Потоки источников, оцененные по таким данным, могут быть существенно завышены из-за “эддингтоновского смещения”, связанного с пуассоновской статистикой (см., например, Ванг и др., 2004). Данные ePOZITA этому эффекту не подвержены, так как они не использовались при отборе источников.

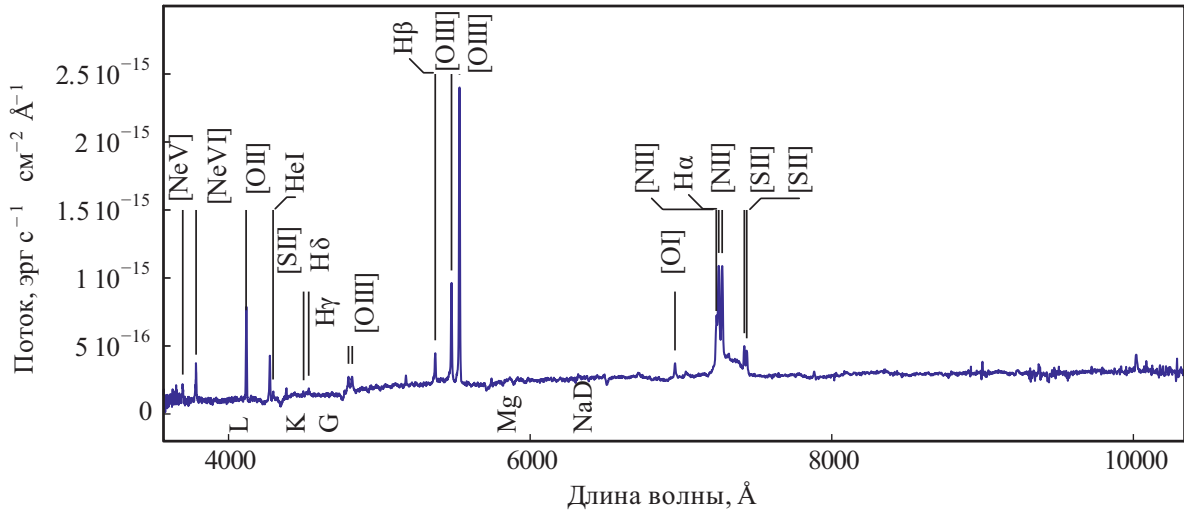
Спектры аппроксимировались в диапазоне энергий 0.2–8.0 кэВ с помощью ПО XSPEC v12.12.0⁵ (Арнауд, 1996). Для подгонки моделей использовалась χ^2 -статистика (с помощью опции *statistic cstat* в XSPEC), которая учитывает наличие фона. Для аппроксимации спектров использовалось несколько моделей, описанных ниже.

Комптонизация излучения аккреционного диска в его горячей короне приводит к формированию степенных рентгеновских спектров с экспоненциальным завалом на высоких ($\gtrsim 100$ кэВ) энергиях (Сюняев, Титарчук, 1980; Харт, Мараши, 1991). Поэтому мы использовали в качестве базовой спектральную модель степенного континуума, модифицированного фотопоглощением в Галактике и внутри АЯГ (далее — модель PL):

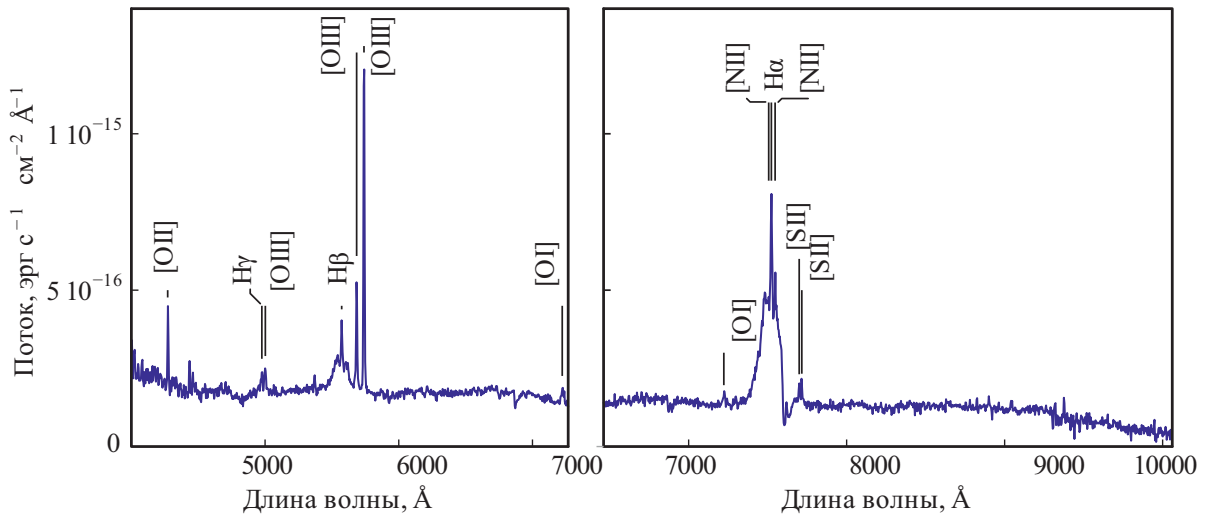
$$tbabs \cdot ztbabs \cdot cflux \cdot zpowerlaw. \quad (1)$$

⁵<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/xanadu/xspec>

№ 1: SRGAJ000132.9+240237



№ 2: SRGAJ001059.5+424341



№ 3: SRGAJ023800.1+193818

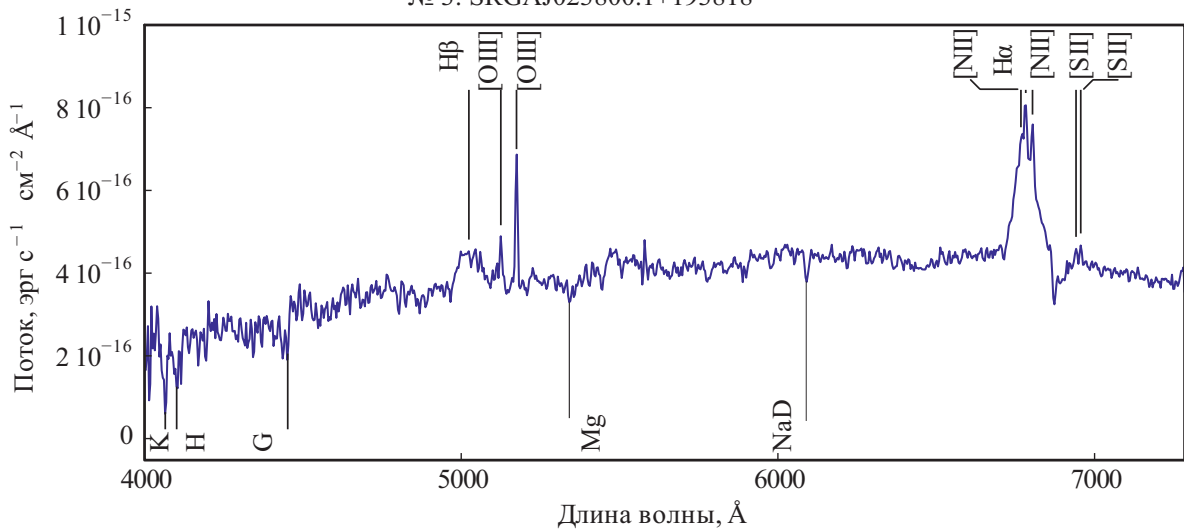


Рис. 2. Оптические спектры с отмеченными основными линиями излучения и поглощения

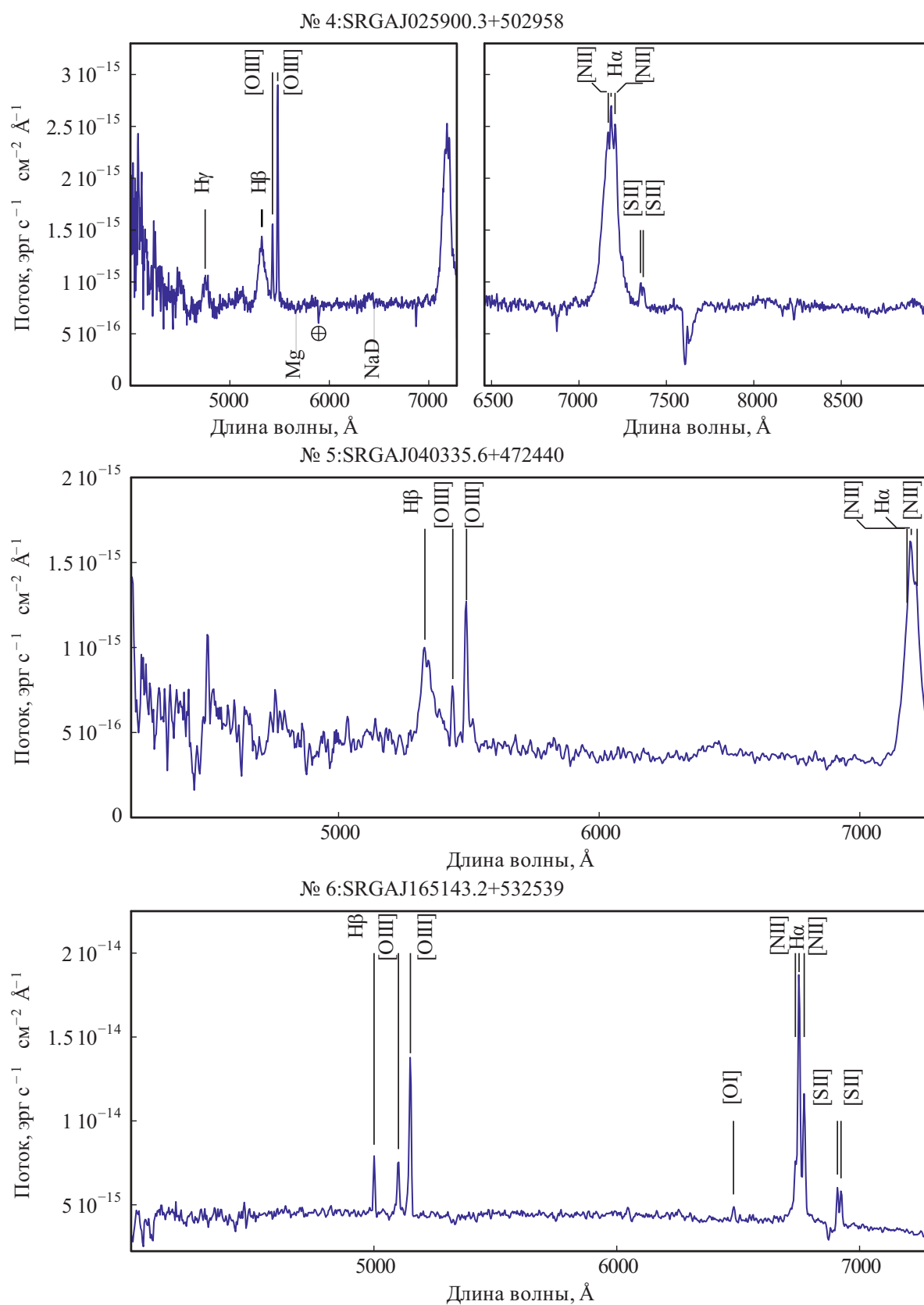
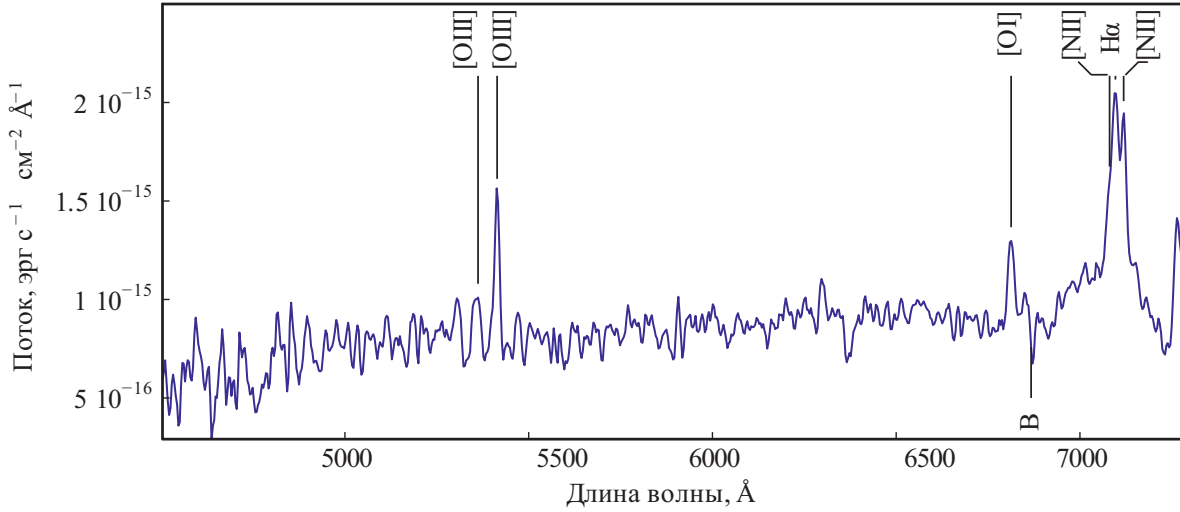
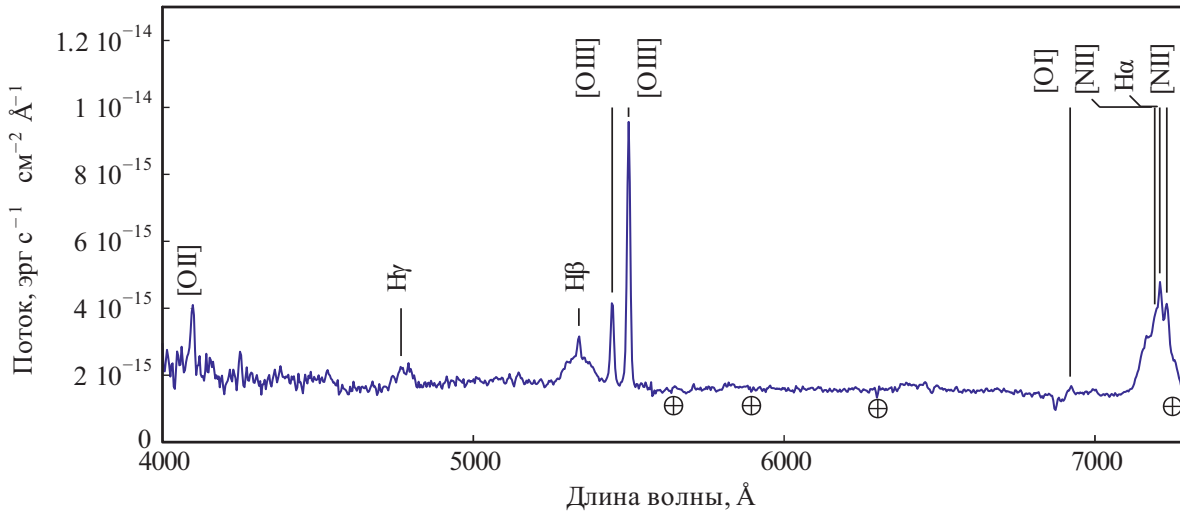


Рис. 2. Продолжение.

№ 7:SRGAJ181749.5+234311



№ 8:SRGAJ191628.1+711619



№ 9:SRGAJ194412.5-243619

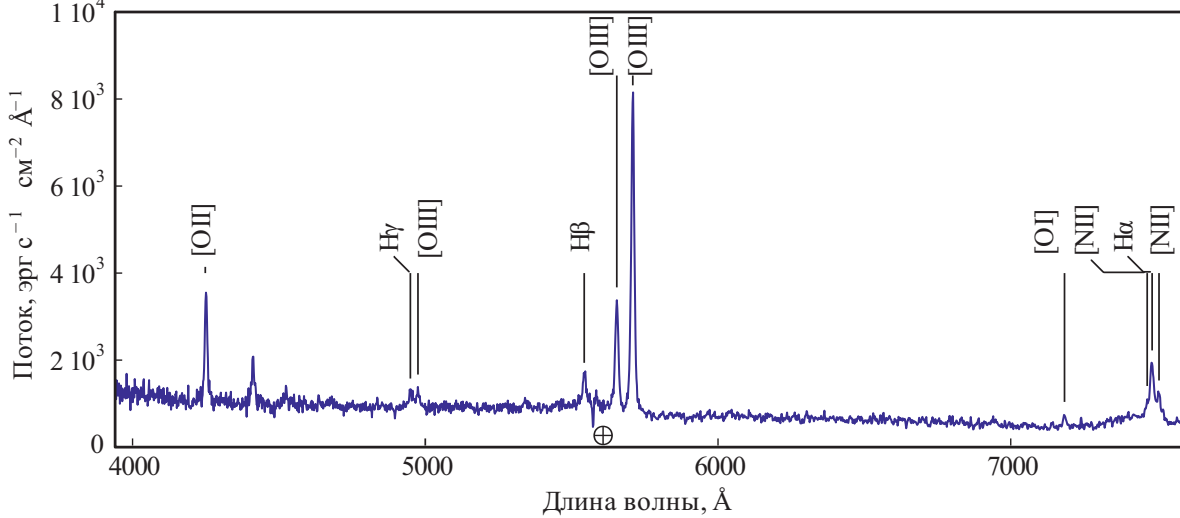


Рис. 2. Продолжение.

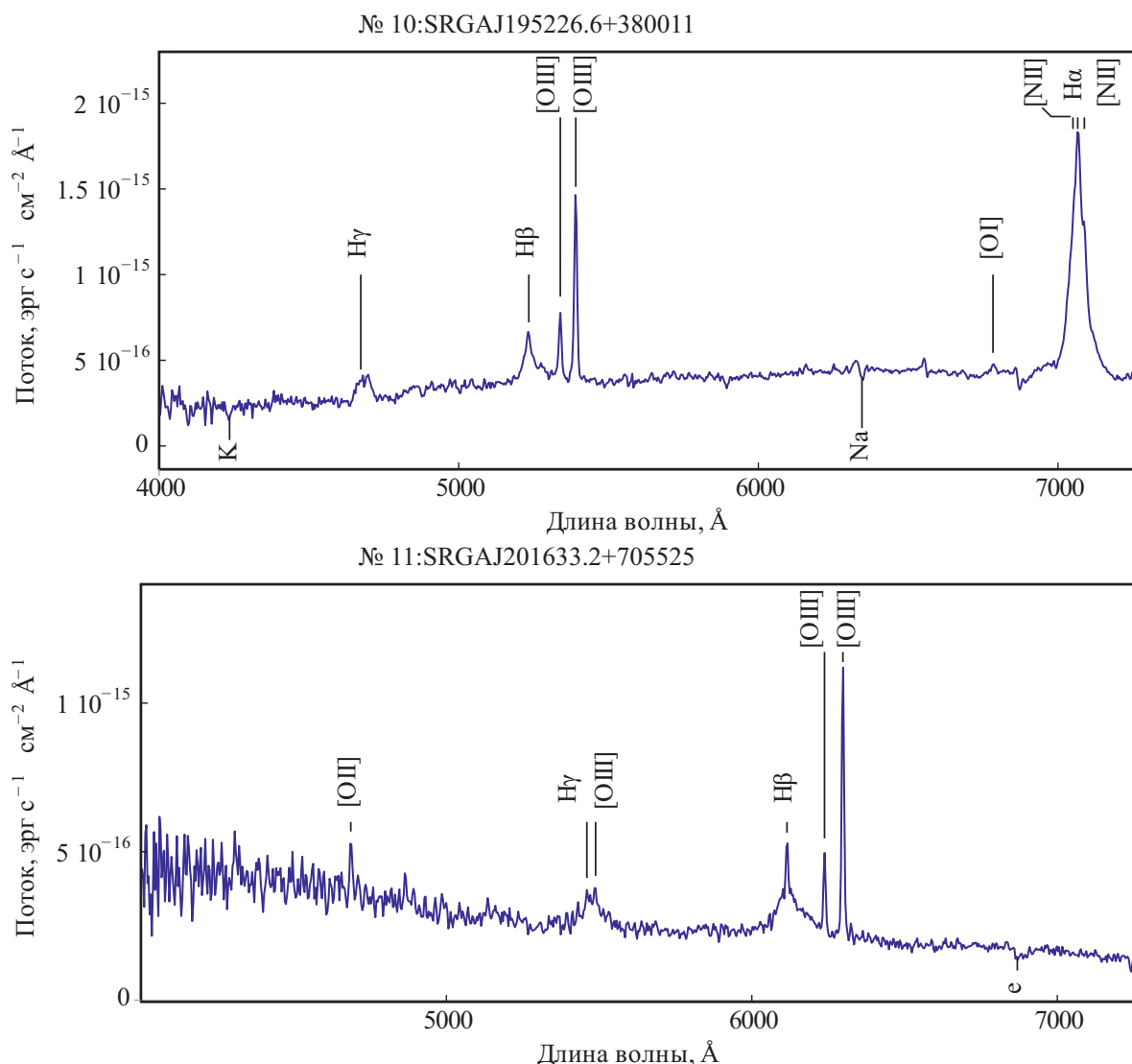


Рис. 2. Окончание.

Здесь TBABS описывает поглощение в межзвездной среде Галактики в направлении на исследуемый объект, и при этом используется значение лучевой концентрации нейтрального водорода из данных обзора HI4PI (Бехти и др., 2016); ZTBABS отвечает за поглощение внутри самого объекта (на его красном смещении); *cflux* — поправленный за поглощение поток в наблюдаемом диапазоне энергий 0.5–10.0 кэВ.

Результаты моделирования рентгеновских спектров источников представлены на рис. 3 и в таб. 4. Доверительные интервалы значений параметров приведены на уровне 90%. Данные eROSITA на рисунках были перегруппированы в более широкие интервалы по энергии для наглядности. Помимо измерений eROSITA показаны также потоки источников в диапазонах энергий 4–7, 7–12 и 12–20 кэВ, оцененные по данным ART-XC. Последние находятся в среднем выше соответствующих модельных спектров, что,

очевидно, связано с упомянутым выше эддингтоновским смещением.

Избыток мягкого излучения в спектре SRGAJ165143.2+532539/SRGeJ165144.1+532539.

При аппроксимации спектра источника № 6 (оптический тип Sy1.9) моделью PL наблюдаются заметные невязки на низких энергиях, что говорит о присутствии дополнительной мягкой компоненты. В рентгеновских спектрах АЯГ второго типа часто наблюдается дополнительное излучение на энергиях ниже 2 кэВ (см., например, Гуаинаци и др., 2005, 2007) на фоне поглощенного степенного континуума. Это может быть как излучение центрального источника, рассеянное и переработанное (в результате фотоионизации и рекомбинации) в газе за пределами газопылевого тора, так и собственное рентгеновское излучение звездного населения и межзвездной среды родительской галактики.

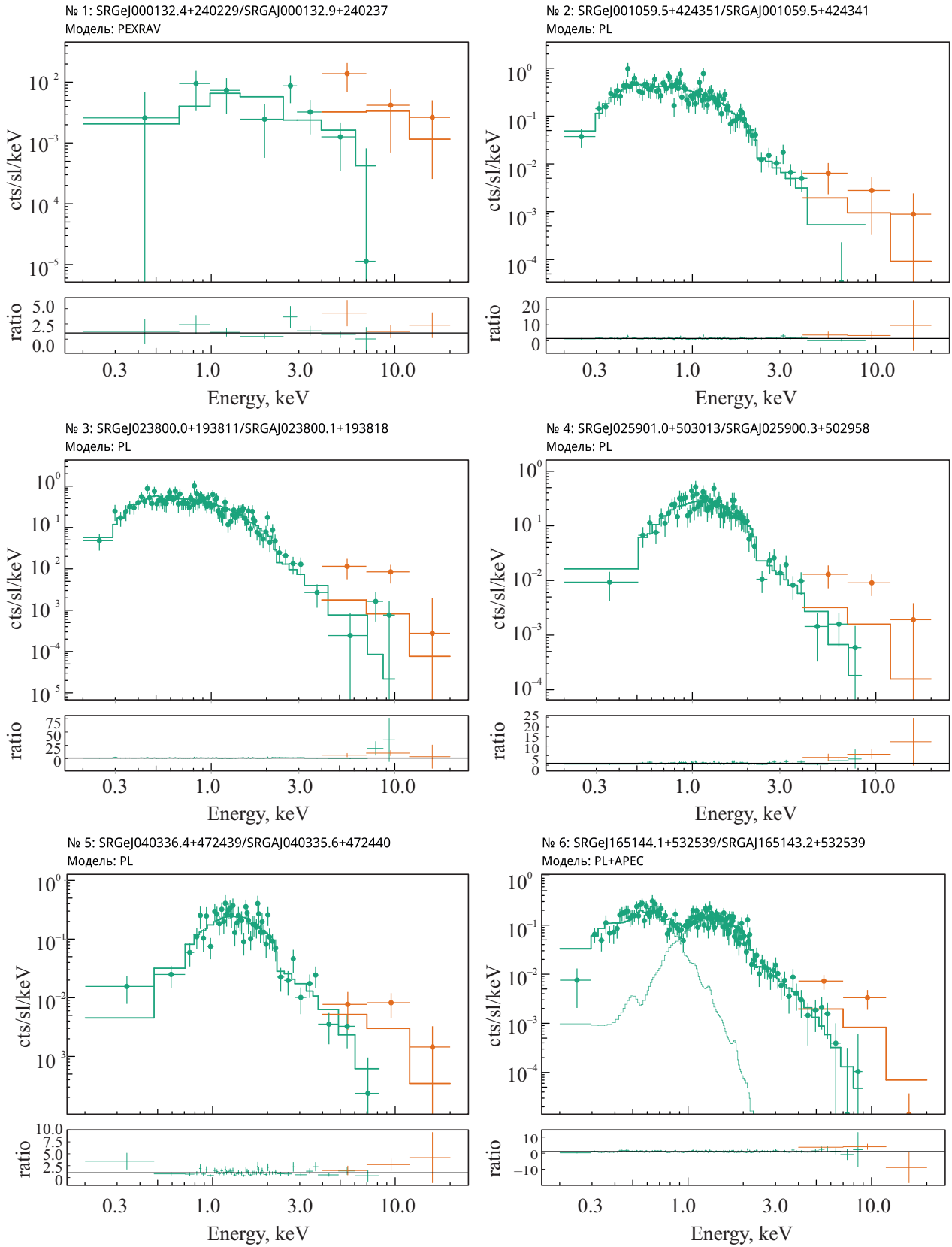


Рис. 3. Рентгеновские спектры по данным телескопов eROSITA (зеленым) и ART-XC (оранжевым), а также модели наилучшей аппроксимации, полученные по данным eROSITA (см. табл. 4). Для источника №6 использована двухкомпонентная модель PL+APEC, поэтому кроме полной модели показаны также обе компоненты. На нижних панелях показано отношение измерений к модели.

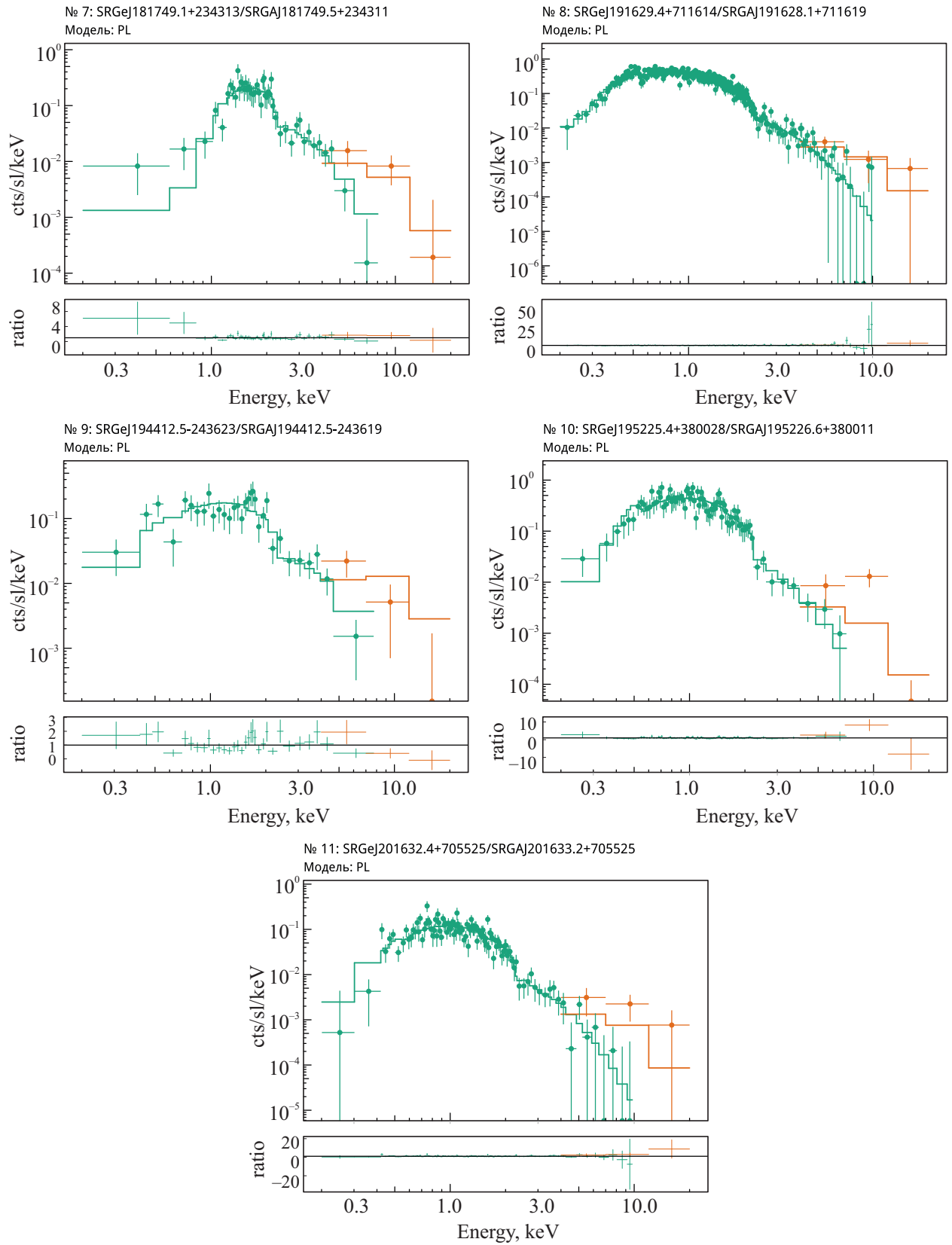


Рис. 3. Продолжение.

Таблица 4. Рентгеновские спектральные параметры

№	Модель	N_{H}^{MW}	N_{H}	$F_{0.5-10}^{\text{PL}}$	Γ		$F_{0.5-10}^{\text{PEXRAV}}$	$\cos I$	A	Cstat (dof)
1	PL	0.04	< 0.9	14^{+20}_{-10}	$-0.5^{+0.9}_{-0.8}$		10^{+5}_{-4}	0.5 (фикс)	1 (фикс)	11.3 (12)
	PEXRAV	0.04			1.8 (фикс)					10.9 (14)
№	Модель	N_{H}^{MW}	N_{H}	$F_{0.5-10}^{\text{PL}}$	Γ		$F_{0.5-10}^{\text{APEC}}$	kT	A	Cstat (dof)
6	PL	0.05	< 0.015	19 ± 2	$1.28^{+0.12}_{-0.07}$		1.39 ± 0.16	$0.24^{+0.04}_{-0.02}$	$0.07^{+0.06}_{-0.04}$	302.9 (256)
	PL+APEC	0.05	$0.9^{+0.3}_{-0.2}$	26^{+9}_{-4}	$2.5^{+0.5}_{-0.4}$					248.3 (253)
№	Модель	N_{H}^{MW}	N_{H}		$F_{0.5-10}^{\text{PL}}$		Γ		Cstat (dof)	
2	PL	0.07	< 0.05		$18.6^{+2.1}_{-1.9}$		$2.20^{+0.25}_{-0.15}$		168.4 (171)	
3	PL	0.08	< 0.02		$18.6^{+2.1}_{-1.7}$		$2.29^{+0.18}_{-0.08}$		168 (183)	
4	PL	0.29	$0.11^{+0.09}_{-0.08}$		31 ± 3		$2.2^{+0.4}_{-0.3}$		111.4 (140)	
5	PL	0.52	< 0.19		39^{+6}_{-5}		$1.9^{+0.4}_{-0.2}$		110.3 (98)	
7	PL	0.12	$1.6^{+0.5}_{-0.4}$		80^{+30}_{-14}		$2.0^{+0.6}_{-0.5}$		113.3 (88)	
8	PL	0.09	$0.045^{+0.019}_{-0.018}$		$24.1^{+1.2}_{-1.1}$		2.08 ± 0.11		358.4 (365)	
9	PL	0.08	< 0.05		53^{+12}_{-14}		$0.66^{+0.23}_{-0.17}$		87.4 (61)	
10	PL	0.22	< 0.06		32 ± 3		$2.22^{+0.31}_{-0.15}$		138.3 (164)	
11	PL	0.10	$0.16^{+0.07}_{-0.06}$		$10.0^{+1.4}_{-1.0}$		$1.9^{+0.3}_{-0.2}$		212.3 (215)	

N_{H}^{MW} , N_{H} — лучевые плотности газа в Галактике и внутри АЯГ соответственно (в единицах 10^{22} атомов Н на кв. см);

$F_{0.5-10.0}^{\text{PL}}$ — поправленный за Галактическое и внутреннее поглощение поток степенной компоненты в диапазоне

0.5–10 кэВ (10^{-13} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$);

Γ — наклон степенной компоненты;

$F_{0.5-10.0}^{\text{PEXRAV}}$ — поправленный за Галактическое поглощение поток компоненты PEXRAV в диапазоне 0.5–10 кэВ

(10^{-13} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$);

$\cos I$ — косинус угла наклона в модели PEXRAV;

A — обилие металлов по отношению к солнечному;

$F_{0.5-10.0}^{\text{APEC}}$ — поправленный за Галактическое поглощение поток компоненты APEC в диапазоне 0.5–10.0 кэВ

(10^{-13} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$);

kT — температура плазмы в модели APEC (кэВ).

Мы попытались описать избыток мягкого излучения в спектре источника № 6 с помощью модели APEC, предназначенной для описания спектров теплового излучения горячей оптически тонкой плазмы (Смит и др., 2001). На языке XSPEC соответствующая двухкомпонентная модель записывается так (далее — модель PL+APEC):

$$tbabs \cdot (zfbabs \cdot cflux \cdot zpowerlaw + apec). \quad (2)$$

Эта модель позволяет описать спектр источника № 6 значительно лучше модели PL. Для определения статистической значимости улучшения качества аппроксимации при добавлении мягкой компоненты к поглощенному степенному континууму мы рассчитали отношение соответствующих правдоподобий.

Согласно теореме Уилкса, $-2(\ln L_1 - \ln L_2)$ асимптотически сходится к распределению χ^2 с количеством степеней свободы, равным разности количества степеней свободы двух моделей, одна из которых вложе-

на в другую. В нашем случае $-2 \ln L_1$ и $-2 \ln L_2$ соответствуют значениям Cstat для модели с мягкой компонентой и модели без такой компоненты соответственно. В итоге находим, что для источника № 6 вероятность того, что улучшение качества аппроксимации при добавлении мягкой компоненты произошло случайно, составляет $\sim 10^{-11}$. При этом важно отметить, что наш выбор модели APEC для описания мягкой компоненты в спектре, конечно же, не является однозначным.

Сильно поглощенный АЯГ SRGAJ000132.9+240237/SRGeJ000132.4+240229. Среди всей выборки выделяется источник № 1 (Sy1.9), спектр которого выглядит очень жестким по сравнению с остальными. При его описании моделью PL наклон спектра оказывается $\Gamma < 0.5$ (см. табл. 4), что кардинально отличается от характерных для АЯГ значений $\Gamma \sim 1.8$. Более того, такие жесткие степенные спектры невозможно получить в результате комптонизации в горячей плазме (например, Поздняков и др., 1983).

Наши попытки “исправить” наклон степенной компоненты с помощью добавления мягкой компоненты не увенчались успехом. Возможно, в случае SRGA J000132.9+240237 мы имеем дело с сильно поглощенным АЯГ, основной вклад в спектр которого вносит излучение, отраженное от газопылевого тора. Для описания отраженной компоненты мы попробовали использовать модель PEXRAV (Магдзиаж, Дзярски, 1995). Хотя эта модель изначально предназначена для описания отражения степенного континуума от плоской поверхности оптически толстой нейтральной среды, она должна примерно правильно описывать форму спектра отраженной компоненты и при других геометриях, в частности в случае отражения степенного континуума от газопылевого тора (см., например, Мелаззини, Сазонов 2023).

На языке XSPEC получившаяся двухкомпонентная модель выглядит так (далее — модель PL+PEXRAV):

$$tbabs \cdot (ztbabs \cdot zpowerlaw + pexrav). \quad (3)$$

При этом нормировочный коэффициент rel_{ref} модели PEXRAV задавался отрицательным, чтобы оставить в этой компоненте только вклад отраженного излучения (т.к. прямая компонента уже учтена в zPOWERLAW). В отношении прочих параметров модели PEXRAV были сделаны следующие предположения: 1) наклон спектра падающего континуума был привязан к наклону компоненты zPOWERLAW, 2) завал спектра на высоких энергиях не вводился, 3) химический состав отражающей среды был зафиксирован на солнечных значениях, 4) косинус угла падения излучения был взят равным 0.5, 5) нормировка была привязана к нормировке компоненты zPOWERLAW. Все эти предположения не оказывают практически никакого влияния на качество аппроксимации спектра.

К сожалению, из-за недостаточной статистики (25.7 фотонов за вычетом фона в данных ePOZITA) не удастся получить сколь-нибудь полезных ограничений на параметры модели PL+PEXRAV. С другой стороны, как уже говорилось выше, полученный в модели PL наклон $\Gamma < 0.5$ указывает на то, что в спектре доминирует излучение, отраженное от газопылевого тора. Поэтому мы упростили модель PL+PEXRAV: наклон спектра был зафиксирован на “каноническом” для АЯГ значении $\Gamma = 1.8$, а компонента, описывающая прямое излучение, была исключена, что в рамках стандартной модели АЯГ соответствует такой ориентации, при которой прямое излучение полностью скрыто тором. Такая модель (PEXRAV) описывается следующим выражением:

$$TBabs \cdot cflux \cdot pexrav. \quad (4)$$

Согласно полученным значениям $Cstat$, эта модель позволяет описать спектр источника № 1 так же хорошо, как и модель PL.

Чтобы лучше изучить свойства этого интересного АЯГ, необходимо получить рентгеновский спектр с хорошей статистикой в широком интервале энергий, желательно до ~ 50 – 100 кэВ. Это позволит использовать более физически обоснованные модели для описания переноса излучения в рамках модели газопылевого тора.

5.3. Комментарии по отдельным объектам

№ 1. SRGA J000132.9+240237. С этим рентгеновским источником связан мощный радиоисточник, который ранее рассматривался как кандидат в блазары (Дабруско и др., 2019). В исследованном нами оптическом спектре, который был получен в ходе обзора SDSS, присутствуют узкие эмиссионные линии, а у линии H α есть также широкая компонента. Это позволяет классифицировать объект как сейфертовскую галактику типа 1.9. Принимая во внимание очень жесткий рентгеновский спектр источника (см. выше), можно заключить, что SRGA J000132.9+240237 является радиогалактикой с узкими линиями (narrow-line radio galaxy) и сильным поглощением.

№ 2. SRGA J001059.5+424341. Этот рентгеновский источник, открытый в ходе обзора всего неба CPG/ART-XC, не попал в опубликованный каталог ARTSS1-5 (Сазонов и др., 2024), так как оказался по значимости детектирования слегка под порогом, установленным для этого каталога. Однако, так как на ранней стадии работы над каталогом ARTSS1-5 этот источник попал в программу оптической поддержки обзора и по нему были получены спектроскопические данные, то мы включили его в настоящую статью. За счет накопления новых данных телескопа CPG/ART-XC источник SRGA J001059.5+424341 может попасть в следующую официальную версию каталога, которую предполагается выпустить после завершения в 2025 году восьмого обзора всего неба CPG/ART-XC.

№ 3. SRGA J023800.1+193818. Этот рентгеновский источник был впервые обнаружен в ходе обзора всего неба обсерватории ROSAT (2RXS J023759.4+ 193802, Боллер и др., 2016). Его оптическим компаньоном является галактика 2MASS J02375999+1938118, с ИК цветом $W1 - W2 = 0.11 \pm 0.03$. По всей видимости, нехарактерный для АЯГ ИК цвет связан с относительно низкой светимостью этого источника ($\sim 10^{42}$ эрг с $^{-1}$ в рентгене), в результате чего излучение звездного населения галактики преобладает над излучением активного ядра в близком и среднем ИК диапазонах.

№ 5. SRGA J040335.6+472440. Этот рентгеновский источник был впервые обнаружен в ходе

обзора всего неба обсерватории ROSAT (2RXS J040337.5+472432).

№ 6. SRGA J165143.2+532539. Этот рентгеновский источник был известен уже по наблюдениям обсерватории Einstein (2E 1650.6+5330, Харрис и др. 1996), а также регистрировался во время обзора всего неба обсерватории ROSAT (2RXS J165144.7+532532, Боллер и др. 2016). Оптическим партнером является галактика SBS 1650+535, для которой ранее уже было измерено красное смещение: $z = 0.0287$ (Караско и др., 1997), однако объект не был известен как АЯГ. Мы классифицировали его как Sy1.9 на основе полученного оптического спектра.

№ 8. SRGA J191628.1+711619. Этот источник был открыт во время обзора всего неба обсерватории ROSAT (2RXS J191627.3+711610). Он также присутствует в каталоге источников, зарегистрированных во время перенаведений обсерватории XMM-Newton (XMMSL2 J191627.8+711616, Сэкстон и др., 2008; Исследовательский научный центр XMMNewton, 2018).

№ 9. SRGA J194412.5–243619. Этот источник был впервые обнаружен во время перенаведений обсерватории XMM-Newton (XMMSL2 J194412.4–243621).

№ 10. SRGA J195226.6+380011. Этот источник был открыт во время обзора всего неба обсерватории ROSAT (2RXS J195225.6+380017). Он также присутствует в каталоге источников, зарегистрированных во время перенаведений обсерватории XMM-Newton (XMMSL2 J195225.3+380027).

№ 11. SRGA J201633.2+705525. Это новый рентгеновский источник, обнаруженный в ходе обзора всего неба СРГ/ART-XC. В оптическом спектре присутствуют узкие эмиссионные линии на $z = 0.25791 \pm 0.00005$, а также широкие линии H β и H γ , что позволяет классифицировать объект как Sy1.

6. ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 5 представлены физические характеристики АЯГ, исследованных в данной работе: оптический класс, красное смещение и рентгеновская светимость L_X . Последняя была рассчитана для степенной компоненты в рентгеновском спектре (для модельных параметров из табл. 4) в наблюдаемом диапазоне 2–10 кэВ (принимая во внимание небольшие красные смещения объектов, k -поправка не учитывалась) и поправлена за Галактическое и внутреннее поглощение.

Рентгеновские светимости объектов варьируются в диапазоне от $\sim 2 \times 10^{42}$ до $\sim 3 \times 10^{44}$ эрг/с. Такие значения являются характерными для АЯГ в современную эпоху (см., например, Уеда и др., 2014; Сазонов и др., 2015). По отношениям потоков в узких линиях $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha)$ и $\lg([OIII]\lambda 5007/H\beta)$ все источники за исключением объекта № 11 (для которого

го отсутствует часть необходимой информации) попадают в область сейфертовских галактик на диаграмме Болдуина, Филлипса и Терлевича (BPT, Болдуин и др. 1981), показанной на рис. 4.

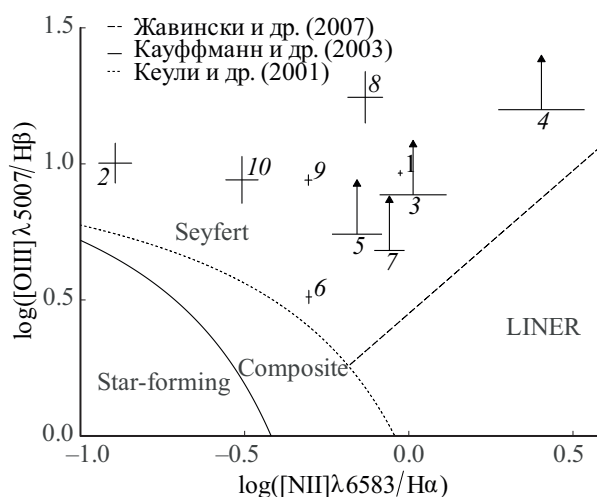


Рис. 4. Расположение исследуемых АЯГ на BPT-диаграмме (Болдуин и др., 1981). Показаны 1 σ доверительные интервалы отношений потоков. Стрелками указаны нижние 2 σ -пределы. Разграничительные линии между разными классами галактик взяты из работ: Кауффманн и др. (2003) — сплошная линия, Кеули и др. (2001) — пунктирная линия, Жавински и др. (2007) — штриховая линия. Источники отмечены по номерам, указанным в табл. 1. На диаграмму не попал источник № 11 (SRGA J201633.2+705525), так как для него область H α оказалась за пределами спектрального диапазона.

На рис. 5 показана зависимость наклона степенного континуума Γ от внутреннего поглощения N_H для исследуемых объектов. Большинство значений наклона близки в пределах ошибок к обычному для АЯГ наклону $\Gamma \approx 1.8$ (например, Трахенброт и др. 2017). Статистически значимое, но умеренное ($N_H \sim 10^{22} \text{ см}^{-2}$) внутреннее поглощение выявлено только у двух объектов (№ 6, № 7, оба — Sy1.9). Еще один источник (№ 1, тоже Sy1.9), возможно, является сильно поглощенным АЯГ, как обсуждалось выше, однако для него не удастся надежно ограничить параметры Γ и N_H по имеющимся данным обзора всего неба обсерватории СРГ. В рентгеновских спектрах всех семи сейфертовских галактик первого типа и сейфертовской галактики второго типа (№ 9) не обнаружено признаков значительного внутреннего поглощения ($N_H \lesssim 2 \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$).

Для сейфертовских галактик 1-го типа мы можем оценить массы центральных черных дыр по светимости и ширине широкой эмиссионной линии H α или H β (последнее актуально для объекта № 11 в нашей выборке) на основе известной эмпирической зависимости (формулы 6 и 7 в Грин и Хо 2005), используя потоки и ширины линий из табл. 7. Полученные таким образом массы оказываются в диапазоне от $\sim 5 \times 10^6$ до $\sim 1.5 \times 10^8 M_\odot$. Кроме того, можно оценить боло-

Таблица 5. Свойства АЯГ

№	Объект	Оптический тип	z^1	$\log L_X^2$
1	SRGA J000132.9+240237	Sy1.9	0.10478 ± 0.00006	$43.6^{+0.2}_{-0.6}$
2	SRGA J001059.5+424341	Sy1	0.14640 ± 0.00009	$43.70^{+0.08}_{-0.12}$
3	SRGA J023800.1+193818	Sy1	0.03350 ± 0.00014	$42.32^{+0.08}_{-0.08}$
4	SRGA J025900.3+502958	Sy1	0.09461 ± 0.00013	$43.51^{+0.13}_{-0.13}$
5	SRGA J040335.6+472440	Sy1	0.0967 ± 0.0003	$43.73^{+0.11}_{-0.15}$
6	SRGA J165143.2+532539	Sy1.9	0.02864 ± 0.00004	$42.26^{+0.12}_{-0.11}$
7	SRGA J181749.5+234311	Sy1.9	0.08134 ± 0.00014	$43.85^{+0.12}_{-0.12}$
8	SRGA J191628.1+711619	Sy1	0.09839 ± 0.00017	$43.48^{+0.05}_{-0.05}$
9	SRGA J194412.5–243619	Sy2	0.14021 ± 0.00010	$44.40^{+0.12}_{-0.15}$
10	SRGA J195226.6+380011	Sy1	0.07666 ± 0.00007	$43.33^{+0.09}_{-0.09}$
11	SRGA J201633.2+705525	Sy1	0.25791 ± 0.00005	$44.07^{+0.11}_{-0.12}$

¹ Красное смещение, измеренное по узким эмиссионным линиям.

² Поправленная за Галактическое и внутреннее поглощение светимость степенной спектральной компоненты в наблюдаемом диапазоне энергий 2–10 кэВ в единицах эрг/с, на основе модели PL+APEC для источника № 6 и модели PL для всех остальных (см. табл. 4). Погрешности красного смещения приведены на уровне достоверности 68%, а светимости — 90% (без учета небольшой погрешности измерения красного смещения).

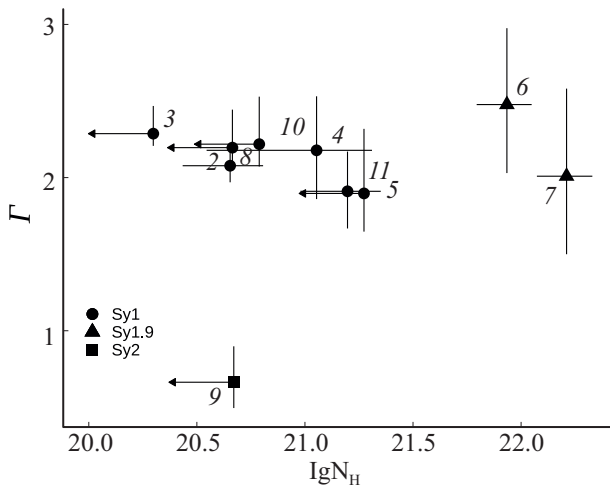


Рис. 5. Зависимость наклона рентгеновского степенного континуума от колонки внутреннего поглощения. Сейфертовские галактики разных типов показаны разными символами. Ошибки и верхние пределы соответствуют 90% доверительным интервалам. Для источника №6 использовалась модель PL+APEC, для остальных — модель PL (см. табл. 4). Источник №1 не показан, так как для него не удалось надежно ограничить параметры Γ и N_H .

метрические светимости и темпы аккреции по отношению к критическому (λ_{Edd}), используя характерную болометрическую поправку для диапазона 2–10 кэВ: $L_{\text{bol}}/L_X \sim 11$ (Сазонов и др., 2012). Полученные оценки приведены в табл. 6. Важно отметить, что наряду с указанными статистическими ошибками есть более значительная систематическая неопределенность, связанная с определением масс черных дыр и применением болометрической поправки. Полученные значения λ_{Edd} варьируются от $\sim 3\%$ до $\sim 20\%$, что харак-

терно для сейфертовских галактик в целом (см., например, Прохоренко и др., 2021; Ананна и др., 2022).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью наблюдений, проведенных на телескопе АЗТ-33ИК, и архивных спектральных данных из обзоров SDSS и 6dF отождествлены 11 новых АЯГ среди рентгеновских источников, зарегистрированных в диапазоне энергий 4–12 кэВ в ходе первых пяти обзоров всего неба телескопа ART-XC обсерватории СРГ. Все источники также уверенно детектируются телескопом ePOZITA в диапазоне энергий 0.2–8.0 кэВ, по данным которого была получена более точная локализация источников и получены и проанализированы их рентгеновские спектры. Все объекты оказались близкими сейфертовскими галактиками (7 Sy1, 3 Sy1.9, 1 Sy2) на красных смещениях $z = 0.029\text{--}0.258$.

Анализ рентгеновских спектров, полученных телескопом ePOZITA, позволил выявить у двух из четырех сейфертовских галактик второго типа (Sy1.9, Sy2) заметное внутреннее поглощение ($N_H \sim 10^{22} \text{ см}^{-2}$). Спектр еще одной из них (SRGA J000132.9+240237) описывается степенным спектром с наклоном $\Gamma < 0.5$, что может указывать на сильное поглощение и значительный вклад излучения, отраженного от газопылевого тора. Однако имеющихся данных обзора всего неба СРГ недостаточно для того, чтобы получить надежные ограничения на колонку поглощения в этом объекте, который интересен еще и тем, что является радиогромким. Мы планируем получить с помощью телескопа СРГ/ART-XC в режиме наведения более качественный рентгеновский спектр этого источника, чтобы детально изучить его физические свойства.

Таблица 6. Массы, болометрические светимости и эддингтоновские отношения для центральных черных дыр в галактиках типа Sy1

№	Объект	Масса ЧД, $10^6 M_\odot$	$L_{\text{bol}}, 10^{44} \text{ эрг с}^{-1}$	λ_{Edd}
2	SRGAJ001059.5+424341	150 ± 32	$5.5^{+1.2}_{-1.3}$	0.028 ± 0.009
3	SRGAJ023800.1+193818	4.68 ± 0.98	$0.23^{+0.05}_{-0.04}$	0.038 ± 0.011
4	SRGAJ025900.3+502958	72 ± 14	$3.6^{+1.2}_{-0.9}$	0.038 ± 0.014
5	SRGAJ040335.6+472440	28 ± 6	$5.8^{+1.7}_{-1.7}$	0.16 ± 0.06
8	SRGAJ191628.1+711619	102 ± 21	$3.3^{+0.4}_{-0.4}$	0.025 ± 0.006
10	SRGAJ195226.6+380011	16 ± 3	$2.3^{+0.5}_{-0.4}$	0.12 ± 0.03
11	SRGAJ201633.2+705525	137 ± 20	13^{+4}_{-3}	0.07 ± 0.02

Эта статья продолжает серию публикаций об оптическом отождествлении рентгеновских источников, обнаруженных в ходе обзора всего неба СРГ/ART-XC. Итогом этой работы должно стать получение большой, статистически полной выборки АЯГ, отобранных по их излучению в жестком рентгеновском диапазоне 4–12 кэВ.

В исследовании были использованы данные телескопов ART-XC и ePOZITA на борту обсерватории СРГ. Обсерватория СРГ разработана в АО “НПО Лавочкина” (входит в госкорпорацию “Роскосмос”) при участии Германского центра авиации и космонавтики (DLR) в рамках Федеральной космической программы России по заказу Российской академии наук. Рентгеновский телескоп ePOZITA изготовлен консорциумом германских институтов во главе с Институтом внеземной астрофизики Общества им. Макса Планка при поддержке DLR. Команда телескопа ART-XC благодарит госкорпорацию “Роскосмос”, Российскую академию наук и госкорпорацию “Росатом” за поддержку разработки и создания телескопа ART-XC, а также АО “НПО Лавочкина” и партнеров за создание и работу с космическим аппаратом и платформой “Навигатор”. И использованные в настоящей работе данные телескопа ePOZITA обработаны с помощью программного обеспечения eSASS, разработанного германским консорциумом ePOZITA, и программного обеспечения для обработки и анализа данных, разработанного российским консорциумом телескопа ePOZITA. Это исследование было проведено при поддержке гранта РНФ 19-12-00396⁶.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ананна и др. (T. T. Ananna, A. K. Weigel, B. Trakhtenbrot, M. J. Koss, C. M. Urry, C. Ricci, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **261**, 9 (2022).
- Арнауд (K. A. Arnaud), in G. H. Jacoby and J. Barnes (eds.), *Astronomical Data Analysis Software and Systems V*, Vol. 101 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series.*, p. 17 (1996).
- Афанасьев и др. (V. L. Afanasiev, S. N. Dodonov, V. R. Amirkhanyan, A. V. Moiseev), *Astrophys. Bull.* **71**, 479 (2016).
- Ахумата и др. (R. Ahumada, C. Allende Prieto, A. Almeida, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **249**, 3 (2020).
- Бехти и др. (HI4PI Collaboration, N. Ben Bekhti, L. Flöer, R. Keller, J. Kerp, D. Lenz, et al.), *Astron. Astrophys.* **594**, A116 (2016).
- Болдуин и др. (J. A. Baldwin, M. M. Phillips, and R. Terlevich), *Pub. Astron. Soc. Pacific* **93**, 5 (1981).
- Боллер и др. (T. Boller, M. J. Freyberg, J. Trümper, F. Haberl, W. Voges, and K. Nandra), *Astron. Astrophys.* **588**, A103 (2016).
- Буренин и др. (R. A. Burenin, A. L. Amvrosov, M. V. Eselevich, V. M. Grigor'ev, V. A. Aref'ev, V. S. Vorob'ev, et al.), *Astron. Lett.* **42**, 295 (2016).
- Ванг и др. (Q. D. Wang, et al.), *Astrophys. J.* **612**, 159 (2004).
- Верон-Сетти и др. (M.-P. Véron-Cetty, P. Véron, and A. C. Gonçalves), *Astron. Astrophys.* **372**, 730 (2001).
- Гордон и др. (Y. A. Gordon, M. M. Boyce, C. P. O'Dea, L. Rudnick, H. Andernach, A. N. Vantyghem, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **255**, 30 (2021).
- Грин и Хо (J. E. Greene and L. C. Ho), *Astrophys. J.* **630**, 122 (2005).
- Гуаинацци и др. (M. Guainazzi, G. Matt, and G. C. Perola), *Astron. Astrophys.* **444**, 119 (2005).
- Гуаинацци и др. (M. Guainazzi and S. Bianchi), *MNRAS* **374**, 1290 (2007).
- Дабруско и др. (R. D'Abrusco, N. Álvarez Crespo, F. Massaro, R. Campana, V. Chavushyan, M. Landoni, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **242**, 4 (2019).
- Джонс и др. (D. H. Jones, M. A. Read, W. Saunders, M. Colless, T. Jarrett, Q. A. Parker, et al.), *MNRAS* **399**, 683 (2009).
- Жавински и др. (K. Schawinski, D. Thomas, M. Sarzi, C. Maraston, S. Kaviraj, S.-J. Joo, et al.), *MNRAS* **382**, 1415 (2007).
- Зазнобин и др. (I. A. Zaznobin, G. S. Uskov, S. Y. Sazonov, R. A. Burenin, P. S. Medvedev, G. A. Khorunzhev, et al.), *Astronomy Letters* **47**, 71 (2021).

⁶Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России. Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования “Ангара” <http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>

19. Зазнобин и др. (I. Zaznobin, S. Sazonov, R. Burenin, G. Uskov, A. Semena, M. Gilfanov, et al.), *Astron. Astrophys.* **661**, A39 (2022).
20. Исследовательский научный центр XMM-Newton (XMM-SSC), *VizieR Online Data Catalog*, p. IX/53 (2018).
21. Караско и др. (L. Carrasco, A. Serrano, H. M. Tovmassian, J. A. Stepanian, V. H. Chavushyan, and L. K. Erastova), *Astron. J.* **113**, 1527 (1997).
22. Кардели и др. (J. A. Cardelli, G. C. Clayton, and J. S. Mathis), *Astrophys. J.* **345**, 245 (1989).
23. Катри и др. (R. M. Cutri, E. L. Wright, T. Conrow, J. W. Fowler, P. R. M. Eisenhardt, C. Grillmair, et al.), *VizieR Online Data Catalog*, p. II/328 (2021).
24. Кауффманн и др. (G. Kauffmann, T. M. Heckman, C. Tremonti, J. Brinchmann, S. Charlot, S. D. M. White, et al.), *MNRAS* **346**, 1055 (2003).
25. Кеули и др. (L. J. Kewley, M. A. Dopita, R. S. Sutherland, C. A. Heisler, and J. Trevena), *The Astrophys. J.* **556**, 121 (2001).
26. Кондон и др. (J. J. , W. D. Cotton, E. W. Greisen, Q. F. Yin, R. A. Perley, G. B. Taylor, et al.), *Astron. J.* **115**, 1693 (1998).
27. Лутовинов и др. (A. A. Lutovinov, S. S. Tsygankov, I. A. Mereminskiy, S. V. Molkov, A. N. Semena, V. A. Arefiev, et al.), *Astron. Astrophys.* **661**, A28 (2022).
28. Магджиаж, Дзярски (P. Magdziarz, and A. A. Zdziarski), *MNRAS* **273**, 837 (1995).
29. Мелаззини, Сазонов (F. Melazzini, and S. Sazonov), *Astron. Lett.* **49**, 301 (2023).
30. Мереминский и др. (I. A. Mereminskiy, A. V. Dodin, A. A. Lutovinov, A. N. Semena, V. A. Arefiev, K. E. Atapin, et al.), *Astron. Astrophys.* **661**, A32 (2022).
31. Остерброк (D. E. Osterbrock), *The Astrophys. J.* **249**, 462 (1981).
32. Павлинский и др. (M. Pavlinsky, A. Tkachenko, V. Levin, N. Alexandrovich, V. Arefiev, V. Babyshkin, et al.), *Astron. Astrophys.* **650**, A42 (2021).
33. Павлинский и др. (M. Pavlinsky, S. Sazonov, R. Burenin, E. Filippova, R. Krivonos, V. Arefiev, et al.), *Astron. Astrophys.* **661**, A38 (2022).
34. Поздняков и др. (L. A. Pozdnyakov, I. M. Sobol, and R. A. Syunyaev), *Astrophys. Space Phys. Rev.* **2**, 189 (1983).
35. Предель и др. (P. Predehl, R. Andritschke, V. Arefiev, V. Babyshkin, O. Batanov, W. Becker, et al.), *Astron. Astrophys.* **647**, A1 (2021).
36. Прохоренко и др. (S. A. Prokhorenko, and S. Y. Sazonov), *Astronomy Letters* **47**, 515 (2021).
37. Сазонов и др. (S. Sazonov, S. P. Willner, A. D. Goulding, R. C. Hickox, V. Gorjian, M. W. Werner, et al.), *Astrophys. J.* **757**, 181 (2012).
38. Сазонов и др. (S. Sazonov, E. Churazov, and R. Krivonos), *MNRAS* **454**, 1202 (2015).
39. Сазонов и др. (S. Sazonov, R. Burenin, E. Filippova, R. Krivonos, V. Arefiev, K. Borisov, et al.), arXiv e-prints, p. arXiv:2405.09184.
40. Смит и др. (R. K. Smith, N. S. Brickhouse, D. A. Liedahl, and J. C. Raymond), *Astrophys. J. (Lett.)* **556**, L91 (2001).
41. Стерн и др. (D. Stern, R. J. Assef, D. J. Benford, A. Blain, R. Cutri, A. Dey, et al.), *Astrophys. J.* **753**, 30 (2012).
42. Сэкстон и др. (R. D. Saxton, A. M. Read, P. Esquej, M. J. Freyberg, B. Altieri, and D. Bermejo), *VizieR Online Data Catalog*, pp J/A+A/480/611 (2008).
43. Сюняев, Титарчук (R. A. Sunyaev, and L. G. Titarchuk), *Astron. Astrophys.* **86**, 121 (1980).
44. Сюняев и др. (R. Sunyaev, V. Arefiev, V. Babyshkin, A. Bogomolov, K. Borisov, M. Buntov, et al.), *Astron. Astrophys.* **656**, A132 (2021).
45. Трахтенброт и др. (B. Trakhtenbrot, C. Ricci, M. J. Koss, K. Schawinski, R. Mushotzky, Y. Ueda, et al.), *MNRAS* **470**, 800 (2017).
46. Уеда и др. (Y. Ueda, M. Akiyama, G. Hasinger, T. Miyaji, and M. G. Watson), *Astrophys. J.* **786**, 104 (2014).
47. Усков и др. (G. S. Uskov, I. A. Zaznobin, S. Y. Sazonov, A. N. Semena, M. R. Gilfanov, R. A. Burenin, et al.), *Astron. Lett.* **48**, 87 (2022).
48. Усков и др. (G. S. Uskov, S. Y. Sazonov, I. A. Zaznobin, R. A. Burenin, M. R. Gilfanov, P. S. Medvedev, et al.), *Astron. Lett.* **49**, 25 (2023).
49. Харрис и др. (D. E. Harris, W. Forman, I. M. Gioia, J. A. Hale, J. Harnden, F. R. C. Jones, et al.), *VizieR Online Data Catalog*, p. IX/13 (1996).
50. Харг, Мараша (F. Haardt, and L. Maraschi), *Astrophys. J. (Lett.)* **380**, L51 (1991).
51. Чамберс и др. (K. C. Chambers, E. A. Magnier, N. Metcalfe, H. A. Flewelling, M. E. Huber, C. Z. Waters, et al.), arXiv e-prints, p. arXiv:1612.05560 (2016).
52. Schlafly, Finkbeiner (E. F. Schlafly, D. P. Finkbeiner), *Astrophys. J.* **737**, 103 (2011).
53. Шлафлай и др. (E. F. Schlafly, G. Green, D. P. Finkbeiner, M. Jurić, H. W. Rix, N. F. Martin, et al.), *Astrophys. J.* **789**, 15 (2014).

Таблица 7. Спектральные особенности источников. Длины волн в системе наблюдателя. Потоки, эквивалентные ширины и $FWHM$ получены для системы отсчета источников. Доверительные интервалы приведены на уровне значимости 1σ , а верхние пределы на уровне 2σ

Линия	Длина волны	Поток, 10^{-15} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$	EW , Å	$FWHM$, 10^2 км/с
SRGA J000132.9+240237				
[NeV]3346	3696	0.60 ± 0.05	-5.6 ± 0.5	—
[NeVI]3426	3784	1.57 ± 0.05	-15.6 ± 0.5	—
[OII]3726	4118	4.68 ± 0.06	-45.7 ± 0.6	—
HeI 3888	4296	0.31 ± 0.02	-2.7 ± 0.2	—
[SII]4071	4495	0.19 ± 0.02	-1.47 ± 0.18	—
H δ	4531	0.38 ± 0.02	-2.82 ± 0.18	—
H γ	4795	1.31 ± 0.04	-8.3 ± 0.2	—
[OIII]4363	4818	1.44 ± 0.04	-8.9 ± 0.3	—
H β	5370	1.69 ± 0.04	-7.26 ± 0.15	—
[OIII]4959	5478	5.53 ± 0.06	-23.5 ± 0.2	—
[OIII]5007	5531	15.62 ± 0.12	-66.1 ± 0.5	—
[OI]6300	6961	1.07 ± 0.04	-4.00 ± 0.14	—
[NII]6548	7235	3.74 ± 0.07	-13.7 ± 0.3	—
H α	7250	8.29 ± 0.09	-30.2 ± 0.3	—
[NII]6583	7273	7.80 ± 0.09	-28.4 ± 0.3	—
?	7310	23.6 ± 0.3	-85.5 ± 0.9	68.8 ± 0.7
[SII]6716	7420	1.78 ± 0.05	-6.41 ± 0.16	—
[SII]6731	7437	1.56 ± 0.05	-5.61 ± 0.16	—
SRGA J001059.5+424341				
[OII]3726	4274	1.9 ± 0.2	-9.3 ± 1.1	—
H γ	4976	0.65 ± 0.11	-3.8 ± 0.6	—
[OIII]4363	5001	0.80 ± 0.11	-4.7 ± 0.6	—
H β , широкая	5572	10.7 ± 0.5	-58 ± 3	68 ± 3
H β	5572	0.94 ± 0.16	-5.1 ± 1.0	—
[OIII]4959	5685	2.92 ± 0.11	-16.0 ± 0.6	—
[OIII]5007	5740	9.44 ± 0.15	-53.0 ± 0.8	—
[OI]6300	7226	0.36 ± 0.07	-2.7 ± 0.5	—
[NII]6548	7509	0.11 ± 0.03	-0.8 ± 0.2	—
H α , широкая	7523	49.0 ± 0.6	-369 ± 4	61.7 ± 0.9
H α	7523	2.66 ± 0.15	-20.0 ± 1.1	—
[NII]6583	7544	0.34 ± 0.03	-2.5 ± 0.7	—
[SII]6716	7700	0.47 ± 0.07	-3.6 ± 0.5	—
[SII]6731	7716	0.55 ± 0.11	-4.2 ± 0.8	—

Таблица 7 (продолжение)

Линия	Длина волны	Поток, 10^{-15} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$	$EW, \text{\AA}$	$FWHM, 10^2 \text{ км/с}$
SRGA J023800.1+193818				
H β , широкая	5029	6.2 ± 0.8	-17 ± 2	44 ± 5
H β	5029	< 0.3	> -0.7	—
[OIII]4959	5125	0.90 ± 0.14	-2.4 ± 0.4	—
[OIII]5007	5175	2.56 ± 0.17	-6.8 ± 0.5	—
[NII]6548	6768	0.29 ± 0.06	-0.64 ± 0.10	—
H α , широкая	6783	21.2 ± 0.6	-48.8 ± 1.4	32.8 ± 1.0
H α	6783	0.84 ± 0.19	-1.9 ± 0.4	—
[NII]6583	6803	0.86 ± 0.06	-1.9 ± 0.3	—
[SII]6716	6942	< 0.2	> -1.2	—
[SII]6731	6956	0.38 ± 0.11	-0.9 ± 0.2	—
SRGA J025900.3+502958				
H γ , широкая	4753	19 ± 3	-26 ± 3	48 ± 3
H β , широкая	5322	35 ± 2	-42 ± 3	43 ± 3
H β	5322	< 1.5	> -3	—
[OIII]4959	5429	8.7 ± 0.6	-10.5 ± 0.7	—
[OIII]5007	5481	23.8 ± 0.7	-28.8 ± 0.8	—
[NII]6548	7165	2.1 ± 0.2	-2.7 ± 0.3	—
H α , широкая	7180	153 ± 2	-197 ± 3	40.9 ± 0.6
H α	7180	2.4 ± 0.7	-3.1 ± 1.1	—
[NII]6583	7210	6.2 ± 0.2	-8.1 ± 0.8	—
[SII]6716	7352	2.7 ± 0.3	-3.6 ± 0.3	—
[SII]6731	7370	2.7 ± 0.3	-3.6 ± 0.3	—
SRGA J040335.6+472440				
H β , широкая	5340	27 ± 2	-59 ± 5	33 ± 3
H β	5340	< 1.9	> -4	—
[OIII]4959	5437	3.9 ± 0.6	-8.7 ± 1.3	—
[OIII]5007	5489	10.4 ± 0.8	-23.3 ± 1.7	—
[NII]6548	7183	2.2 ± 0.4	-6.7 ± 1.4	—
H α , широкая	7198	60 ± 3	-185 ± 10	32.7 ± 1.4
H α	7198	9.5 ± 1.5	-30 ± 6	—
[NII]6583	7219	6.6 ± 0.4	-20 ± 4	—
SRGA J165143.2+532539				
H β	5001	29.8 ± 1.6	-6.6 ± 0.3	—
[OIII]4959	5100	34.2 ± 1.5	-7.7 ± 0.3	—
[OIII]5007	5149	96.7 ± 1.9	-21.8 ± 0.4	—
[OI]6300	6482	8.0 ± 1.0	-1.9 ± 0.2	—
[NII]6548	6736	23.4 ± 0.7	-5.82 ± 0.19	—

Таблица 7 (продолжение)

Линия	Длина волны	Поток, 10^{-15} эрг с^{-1} см^{-2}	EW , Å	$FWHM$, 10^2 км/с
H α , широкая	6751	97 ± 5	-24.6 ± 1.3	30.6 ± 1.7
H α	6751	141 ± 3	-35.4 ± 1.0	—
[NII]6583	6772	70.1 ± 0.7	-17.6 ± 0.6	—
[SII]6716	6909	21.0 ± 1.0	-5.5 ± 0.2	—
[SII]6731	6924	20.5 ± 1.1	-5.4 ± 0.3	—
SRGAJ181749.5+234311				
H β	5257	< 2	> -4	—
[OII]4959	5358	3.7 ± 1.1	-4.9 ± 1.3	—
[OII]5007	5414	11.2 ± 1.3	-13.8 ± 1.5	—
[OI]6300	6813	7.2 ± 0.9	-8.1 ± 1.0	—
[NII]6548	7082	4.0 ± 0.4	-4.4 ± 0.5	—
H α , широкая	7097	43 ± 5	-47 ± 5	54 ± 7
H α	7097	13.6 ± 1.4	-14.8 ± 1.5	—
[NII]6583	7118	11.9 ± 0.4	-13.0 ± 1.5	—
SRGAJ191628.1+711619				
[OII]3726	4096	24 ± 4	-10.8 ± 1.8	—
H γ , широкая	4778	30 ± 4	-18.1 ± 1.8	47 ± 3
H β , широкая	5339	58 ± 4	-31.0 ± 1.9	42 ± 2
H β	5339	5.1 ± 1.1	-2.8 ± 0.5	—
[OII]4959	5447	28.7 ± 0.9	-16.0 ± 0.5	—
[OII]5007	5500	90.1 ± 1.3	-52.0 ± 0.7	—
[OI]6300	6923	2.7 ± 0.6	-1.9 ± 0.4	—
[NII]6548	7193	2.9 ± 0.4	-2.1 ± 0.2	—
H α , широкая	7208	230 ± 4	-170 ± 3	42.5 ± 0.8
H α	7208	11.8 ± 1.4	-8.6 ± 0.8	—
[NII]6583	7228	8.7 ± 0.4	-6.4 ± 0.7	—
SRGAJ194412.5-243619				
[OII]3726	4251	—	-24.9 ± 0.7	—
H γ	4950	—	-5.1 ± 0.5	—
[OII]4363	4974	—	-5.1 ± 0.4	—
H β	5544	—	-9.9 ± 0.5	—
[OII]4959	5654	—	-29.9 ± 0.7	—
[OII]5007	5709	—	-85.7 ± 0.9	—
[OI]6300	7184	—	-5.3 ± 0.7	—
[NII]6548	7468	—	-5.05 ± 0.16	—
H α	7483	—	-30.7 ± 0.7	—
[NII]6583	7503	—	-15.1 ± 0.5	—
SRGAJ195226.6+380011				
H γ , широкая	4683	6.2 ± 0.6	-23 ± 2	34 ± 2

Таблица 7 (окончание)

Линия	Длина волны	Поток, 10^{-15} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$	$EW, \text{\AA}$	$FWHM, 10^2 \text{ км/с}$
H β , широкая	5234	8.6 ± 0.6	-22.2 ± 1.5	31 ± 2
H β	5234	1.3 ± 0.3	-3.4 ± 0.7	—
[OII]4959	5339	4.0 ± 0.2	-10.0 ± 0.5	—
[OII]5007	5390	11.5 ± 0.3	-28.4 ± 0.6	—
[NII]6548	7052	0.81 ± 0.15	-1.8 ± 0.4	—
H α , широкая	7066	59.1 ± 1.3	-134 ± 4	28.2 ± 0.5
H α	7066	7.8 ± 0.8	-18 ± 3	—
[NII]6583	7087	2.43 ± 0.15	-5.5 ± 1.2	—
SRGA J201633.2+705525				
[OII]3726	4688	1.5 ± 0.4	-4.3 ± 1.0	—
H γ , широкая	5479	7.0 ± 0.7	-28 ± 3	55 ± 4
H β , широкая	6115	10.9 ± 0.7	-48 ± 4	49 ± 3
H β	6115	1.36 ± 0.18	-6.1 ± 0.9	—
[OII]4959	6238	1.92 ± 0.18	-8.4 ± 0.8	—
[OII]5007	6298	6.8 ± 0.3	-29.1 ± 1.1	—