

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

© 2023 г. Г. С. Усков^{1*}, С. Ю. Сазонов¹, И. А. Зазнобин¹,
Р. А. Буренин¹, М. Р. Гильфанов^{1,2}, П. С. Медведев¹, Р. А. Сюняев^{1,2},
Р. А. Кривонос¹, Е. В. Филиппова¹, Г. А. Хорунжев¹, 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 08.12.2022 г.

После доработки 16.01.2023 г.; принята к публикации 17.01.2023 г.

Представлены результаты отождествления 14 рентгеновских источников, обнаруженных на восточном галактическом небе ($0 < l < 180^\circ$) в диапазоне энергий 4–12 кэВ на суммарной карте первых пяти обзоров всего неба (с декабря 2019 г. по март 2022 г.) телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории СРГ. Все 14 источников надежно детектируются телескопом СРГ/еРОЗИТА в диапазоне энергий 0.2–8 кэВ. Из них 6 были обнаружены в рентгене впервые, а остальные уже были известны ранее как рентгеновские источники, однако их природа оставалась неизвестной. С помощью 1.6-м телескопа АЗТ-ЗЗИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН были получены оптические спектры 12 источников. Еще для двух объектов были проанализированы архивные спектры, полученные в ходе обзора 6dF. Все объекты оказались сейфертовскими галактиками (1 — NLSy1, 3 — Sy1, 4 — Sy1.9, 6 — Sy2) на красных смещениях $z = 0.015\text{--}0.238$. По данным телескопов еРОЗИТА и ART-XC обсерватории СРГ получены рентгеновские спектры всех объектов в диапазоне 0.2–12 кэВ. У четырех из них внутреннее поглощение превышает $N_H > 10^{22} \text{ см}^{-2}$ на уровне достоверности 90%, причем один из них, вероятно, является сильно поглощенным ($N_H > 5 \times 10^{22} \text{ см}^{-2}$ с достоверностью 90%). Эта статья продолжает серию публикаций об отождествлении жестких рентгеновских источников, обнаруженных в ходе обзора всего неба орбитальной рентгеновской обсерватории СРГ.

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

DOI: 10.31857/S0320010823020043, **EDN:** PZLSPL

ВВЕДЕНИЕ

Орбитальная обсерватория Спектр-РГ (СРГ) (Сюняев и др., 2021) с декабря 2019 г. проводит обзор всего неба в рентгеновских лучах. На борту спутника находятся два телескопа с рентгеновской оптикой косого падения: еРОЗИТА (Предел и др., 2021) и ART-XC им. М.Н. Павлинского (Павлинский и др., 2021), работающие в диапазонах энергий 0.2–9 и 4–30 кэВ соответственно. Всего запланировано провести восемь полных обзоров неба, каждый продолжительностью шесть месяцев. В декабре 2020 г. завершились первые два обзора, и по их результатам был составлен первый

каталог рентгеновских источников (ARTSS12), зарегистрированных с помощью телескопа ART-XC в диапазоне энергий 4–12 кэВ (Павлинский и др., 2022). Среди 867 источников в нем содержатся несколько десятков астрофизических объектов (точное число неизвестно, так как в каталоге присутствуют ложные рентгеновские источники), природа которых была неизвестна на момент выпуска каталога, причем некоторые из них ранее не регистрировались в рентгене.

Обзор всего неба СРГ/ART-XC позволяет получить представительные выборки таких классов объектов, как активные ядра галактик (АЯГ) и катаклизмические переменные (КП). Поэтому важно отождествить максимально большое количество новых объектов, зарегистрированных в ходе

*Электронный адрес: uskov@cosmos.ru

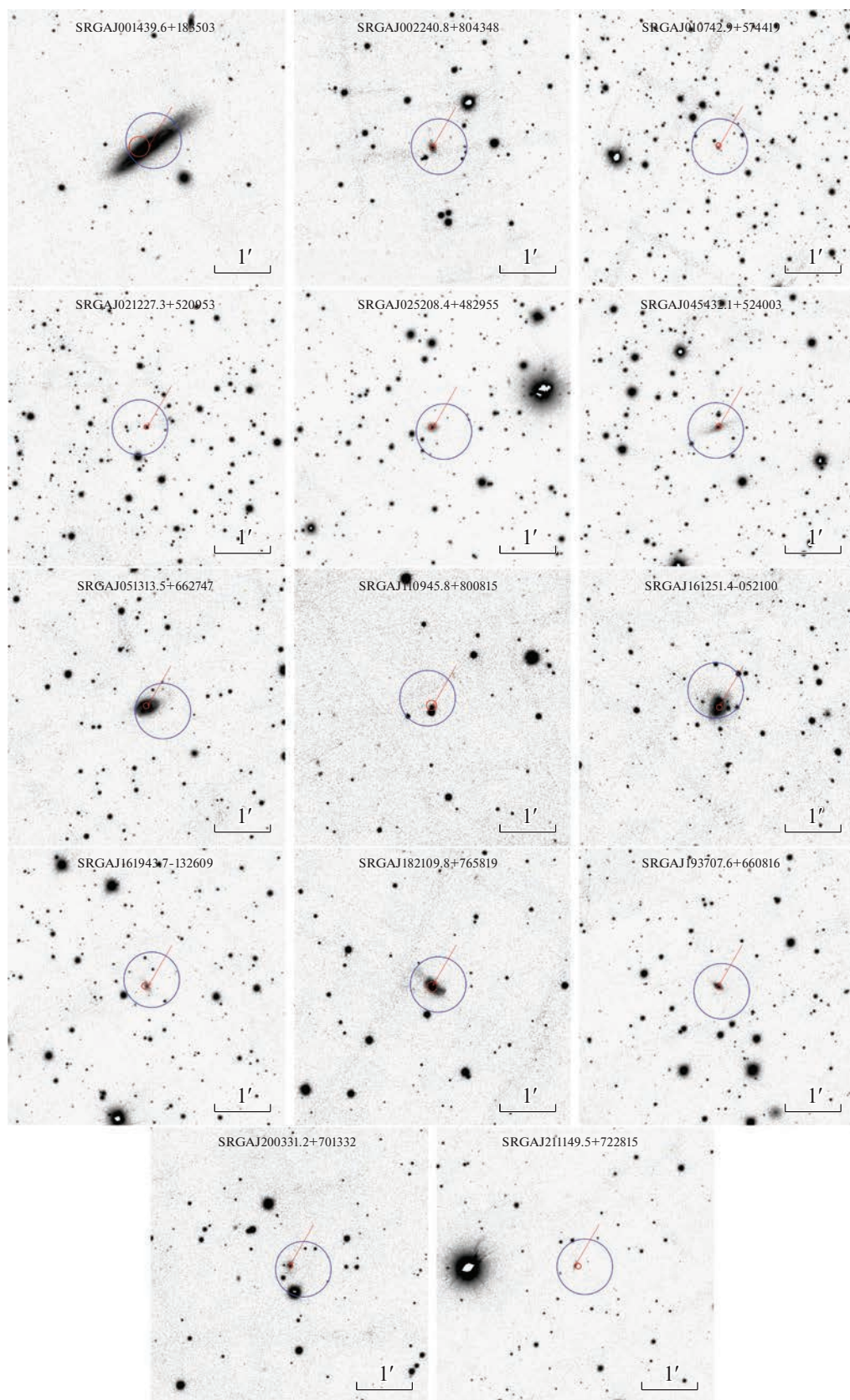


Рис. 1. Оптические изображения в фильтре r из обзора PanSTARRS PS1 (Чамберс и др., 2016). Большими и маленькими кружками показаны области локализации рентгеновских источников телескопами ART-XC (радиус $30''$) и ePOZITA (см. значения r_{98} в табл. 1). Стрелкой показаны оптические объекты, спектры которых исследуются в статье.

обзора. Такая работа была начата при создании каталога ARTSS12 и продолжается в настоящее время. Основную роль при этом играют оптические наблюдения, проводимые на 1.6-м телескопе АЗТ-33ИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН и 1.5-м российско-турецком телескопе (РТТ-150) Национальной обсерватории TÜBİTAK, входящих в комплекс наземной поддержки обсерватории СРГ. Первые результаты этой наблюдательной кампании были представлены в работах Зазнобина и др. (2021, 2022), Ускова и др. (2022), в которых сообщалось об отождествлении 25 АЯГ (в том числе 8 объектов по архивным данным спектроскопического обзора 6dF, Джонс и др., 2004) и 3 КП. Кроме того, в ходе обзора неба СРГ/ART-XC было открыто и затем отождествлено несколько рентгеновских двойных систем с нейтронными звездами и черными дырами (Лутовинов и др., 2022; Мереминский и др., 2022).

В декабре 2021 г. был завершен четвертый обзор всего неба обсерватории СРГ, а к 7 марта 2022 г. примерно треть неба была отсканирована в пятый раз. Затем обзор всего неба был приостановлен, и телескоп ART-XC начал проводить глубокий обзор области неба вдоль плоскости Галактики. В настоящее время завершается работа над составлением каталога источников, обнаруженных телескопом ART-XC по данным первых пяти обзоров (далее будем использовать именно такую формулировку, хотя пятый обзор не завершен), ARTSS1-5. В новом каталоге появилось много новых объектов, ведется работа по их отождествлению.

В настоящей работе представлены результаты отождествления и классификации 14 АЯГ, отобранных среди жестких рентгеновских источников из каталога ARTSS1-5 на восточной галактической половине неба ($0 < l < 180^\circ$). Все эти источники надежно регистрируются телескопом СРГ/еРОЗИТА в диапазоне энергий 0.2–8 кэВ. Мы проанализировали широкополосные рентгеновские спектры, полученные по данным телескопов еРОЗИТА и ART-XC, и оптические спектры, полученные нами на телескопе АЗТ-33ИК и ранее в ходе обзора 6dF. Для расчета светимостей объектов в статье используется модель плоской Вселенной с параметрами $H_0 = 70$, $\Omega_m = 0.3$.

ВЫБОРКА ОБЪЕКТОВ, НАБЛЮДЕНИЯ

Выборку составили объекты из каталога источников, зарегистрированных в диапазоне энергий 4–12 кэВ на суммарной карте первых пяти обзоров неба (с 12 декабря 2019 г. по 7 марта 2022 г.) СРГ/ART-XC (каталог ARTSS1-5, готовится к публикации). Рассматривались только точечные источники из этого каталога, зарегистрированные

на уровне значимости не менее 4.5 стандартных отклонений на половине неба $0 < l < 180^\circ$ (для которой у нас имеются также данные телескопа СРГ/еРОЗИТА). Всего в выборку вошли 14 объектов.

В табл. 1 для всех объектов приведены: координаты рентгеновского источника по данным ART-XC и еРОЗИТА, радиус области локализации еРОЗИТА (на уровне достоверности 98%), координаты предполагаемого оптического партнера (см. раздел “Результаты”), угловое расстояние между рентгеновским источником (по данным ART-XC и еРОЗИТА) и оптическим партнером, поток в диапазоне энергий 4–12 кэВ (по данным ART-XC) и название обсерватории, впервые обнаружившей источник в рентгеновском диапазоне. Шесть источников были впервые зарегистрированы с помощью телескопов ART-XC и еРОЗИТА обсерватории СРГ.

На рис. 1 показаны оптические изображения исследуемых объектов и соответствующие области локализации рентгеновских источников по данным ART-XC и еРОЗИТА. С каждым рентгеновским источником можно однозначно связать конкретный протяженный оптический объект.

Рентгеновские наблюдения

В зависимости от своего положения на небе источники выборки сканировались в ходе четырех либо пяти обзоров всего неба обсерватории СРГ. Суммарные данные этих обзоров были использованы для построения спектров источников в диапазоне энергий 0.2–12 кэВ.

Рентгеновские спектры телескопа ART-XC были получены из данных обзора всего неба при помощи стандартного программного обеспечения, которое применялось для обработки данных обзора (Павлинский и др., 2021, 2022). Данные со всех семи модулей телескопа были объединены. Использовались данные в двух широких диапазонах энергий 4–7 и 7–12 кэВ, которые извлекались в круге радиусом $120''$. Калибровки коэффициентов перевода отсчетов в потоки были получены по данным наблюдений Крабовидной туманности (см. Павлинский и др., 2022), на их основе была построена диагональная матрица отклика. Уровень фона оценивался с использованием данных в жестком диапазоне 30–70 кэВ и карты вейвлет-разложения изображений обзора (см. Павлинский и др., 2022).

Данные телескопа еРОЗИТА 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

Таблица 1. Выборка объектов

№	Источник ART-ХС	Источник еРОЗИТА			Оптический партнер		r_A	r_e	F_A^{4-12}	Открыт
		α	δ	r_{98}	α	δ				
1	SRGA J001439.6+183503	3.66955	18.58246	11.0''	3.66712	18.58203	10.6''	8.4''	$4.7^{+1.8}_{-1.5}$	XMM, Swift
2	SRGA J002240.8+804348	5.68178	80.72962	2.2''	5.68204	80.72947	7.2''	0.6''	$2.8^{+0.9}_{-0.8}$	ROSAT
3	SRGA J010742.9+574419	16.92936	57.73894	2.7''	16.92964	57.73825	2.2''	2.6''	$3.0^{+1.2}_{-1.0}$	CPГ
4	SRGA J021227.3+520953	33.11066	52.16487	2.5''	33.11032	52.16483	7.6''	0.8''	$1.4^{+1.1}_{-0.9}$	ROSAT
5	SRGA J025208.4+482955	43.04074	48.49992	2.7''	43.04017	48.49983	13.1''	1.4''	$2.4^{+1.4}_{-1.1}$	ROSAT
6	SRGA J045432.1+524003	73.63236	52.66875	2.8''	73.63262	52.66847	4.3''	1.2''	$4.1^{+1.8}_{-1.5}$	CPГ
7	SRGA J051313.5+662747	78.31903	66.46429	3.2''	78.31846	66.46398	17.9''	1.4''	$3.2^{+1.5}_{-1.3}$	Swift
8	SRGA J110945.8+800815	167.43408	80.13535	5.5''	167.43237	80.13489	10.8''	2.0''	$2.2^{+1.3}_{-1.1}$	CPГ
9	SRGA J161251.4–052100	243.21307	–5.35506	3.0''	243.21342	–5.35485	17.7''	1.5''	$2.4^{+1.4}_{-1.2}$	ROSAT
10	SRGA J161943.7–132609	244.93418	–13.43768	3.4''	244.93354	–13.43781	8.7''	2.3''	$2.9^{+1.5}_{-1.2}$	CPГ
11	SRGA J182109.8+765819	275.29902	76.97126	5.4''	275.29846	76.97139	6.5''	0.7''	$1.3^{+0.6}_{-0.5}$	CPГ
12	SRGA J193707.6+660816	294.28375	66.13904	2.1''	294.28417	66.13925	6.4''	1.0''	$0.8^{+0.5}_{-0.4}$	ROSAT
13	SRGA J200331.2+701332	300.89093	70.22678	2.2''	300.89162	70.22692	15.0''	1.0''	$1.4^{+0.5}_{-0.5}$	ROSAT
14	SRGA J211149.5+722815	317.96266	72.47104	3.0''	317.96575	72.47122	10.4''	3.4''	$0.9^{+0.6}_{-0.6}$	CPГ

Примечание. Столбцы по номерам: 1 — порядковый номер источника в исследуемой выборке; 2 — название источника из предварительного каталога ARTSS1-5 (используемые в названиях координаты рентгеновских источников даны для эпохи J2000.0); 3 и 4 — координаты источника по данным телескопа еРОЗИТА; 5 — радиус 98%-области локализации еРОЗИТА; 6 и 7 — координаты предполагаемого оптического партнера; 8 — угловое расстояние между источником ART-ХС и оптическим партнером; 9 — угловое расстояние между источником еРОЗИТА и оптическим партнером; 10 — средний рентгеновский поток в диапазоне 4–12 кэВ по сумме пяти обзоров неба телескопа ART-ХС, в единицах 10^{-12} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$; 11 — орбитальная обсерватория, впервые зарегистрировавшая рентгеновский источник.

еРОЗИТА. 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 трех отсчетов.

Оптические наблюдения

Спектроскопия проводилась на телескопе АЗТ-ЗЗИК с помощью спектрографа низкого и среднего разрешения АДАМ (Афанасьев и др., 2016;

Буренин и др., 2016) (см. журнал наблюдений в табл. 2). Использовались длинные щели шириной 1.5'', 2'', 3'' на спектрографе АДАМ. Центр щели совмещался с центральной областью наблюдаемой галактики. Наблюдения выполнялись при качестве изображений точечных источников (FWHM) лучше 2.5''.

На спектрографе АДАМ для получения спектров использовались объемные фазовые голографические решетки (гризмы, VPHG), 600 штрихов на миллиметр. В качестве диспергирующего элемента мы использовали решетки VPHG600G спектрального диапазона 3650–7250 Å с разрешающей способностью 8.6 Å для 2''-щели и решетку VPHG600R спектрального диапазона 6460–10 050 Å с разрешающей способностью

Таблица 2. Журнал оптических наблюдений

Источник ART-XC	Дата	Телескоп	Гризма	Щель, "	Экспозиция, с
SRGA J001439.6+183503	2022-10-31	A3T-33ИК	VPHG600G	3	5 × 300
SRGA J002240.8+804348	2022-10-31	A3T-33ИК	VPHG600G	2	3 × 600
	2022-11-01	A3T-33ИК	VPHG600R	2	3 × 600
SRGA J010742.9+574419	2022-03-04	A3T-33ИК	VPHG600G	3	6 × 600
SRGA J021227.3+520953	2022-11-18	A3T-33ИК	VPHG600G	2	4 × 600
	2022-11-21	A3T-33ИК	VPHG600R	2	4 × 600
SRGA J025208.4+482955	2022-11-01	A3T-33ИК	VPHG600G	2	3 × 600
SRGA J045432.1+524003	2022-11-01	A3T-33ИК	VPHG600G	2	3 × 600
SRGA J051313.5+662747	2022-11-01	A3T-33ИК	VPHG600G	2	3 × 200
SRGA J110945.8+800815	2022-11-03	A3T-33ИК	VPHG600G	2	5 × 300
	2022-11-03	A3T-33ИК	VPHG600R	2	2 × 300
SRGA J161251.4–052100	2003-05-30	UKST	VPH580V	—	3 × 1200
	2003-05-30	UKST	VPH425R	—	3 × 600
SRGA J161943.7–132609	2004-04-16	UKST	VPH580V	—	5 × 1200
	2004-04-16	UKST	VPH425R	—	4 × 600
SRGA J182109.8+765819	2022-11-17	A3T-33ИК	VPHG600G	2	5 × 600
SRGA J193707.6+660816	2022-11-01	A3T-33ИК	VPHG600G	1.5	6 × 300
SRGA J200331.2+701332	2022-11-18	A3T-33ИК	VPHG600G	3	4 × 600
	2022-11-18	A3T-33ИК	VPHG600R	3	4 × 600
SRGA J211149.5+722815	2022-11-21	A3T-33ИК	VPHG600G	2	4 × 600
	2022-11-21	A3T-33ИК	VPHG600R	2	5 × 600

12.2 Å для 2"-щели. При использовании решетки VPHG600R устанавливался фильтр OS11, который убирает с изображения второй порядок интерференции. На спектрографе установлена толстая ПЗС-матрица e2v CCD30-11, изготовленная по технологии глубокого обеднения. Это позволяет получать спектральные изображения на длине волны 10 000 Å без интерференции на тонкой подложке матрицы. Все наблюдения выполнялись с позиционным углом щели, равным нулю. После каждой серии спектроскопических изображений для каждого объекта мы получали калибровочные

изображения лампы с непрерывным спектром и линейчатый спектр He-Ne-Ar лампы.

В каждую ночь наблюдений снимался спектр спектрофотометрических стандартов из списка ESO¹ для всех используемых наборов дифракционных решеток и щелей. Спектрофотометрические стандарты выбирались так, чтобы они находились приблизительно на одинаковой высоте с наблюдаемым нами оптическим источником. Обработка

¹<https://www.eso.org/sci/observing/tools/standards>

данных производилась с помощью ПО IRAF² и собственного ПО. Калибровка по потоку была выполнена стандартными процедурами IRAF из пакета onedspec.

Спектры объектов были исправлены за межзвездное поглощение при помощи процедуры *deredden* из пакета onedspec IRAF стандартным способом (Карделли и др., 1989). Избыток цвета $E(B - V)$ определялся с помощью сервиса GALExtin³ с использованием модели Шлегель и др. (1998). Значение $R_V = 2.742$ взято из работы Шлафлай и Финкбейнер (2011).

Для двух объектов выборки мы проанализировали архивные спектроскопические данные обзора 6dF (Джонс и др., 2009). Этот обзор проводился на 1.2-м телескопе Шмидта UKST с помощью многоволоконного спектрографа с полем зрения 5.7° , оснащенного двумя решетками низкого разрешения $R \approx 1000$ с перекрывающимися спектральными диапазонами. При этом был полностью покрыт диапазон 4000–7500 Å. Полученные в ходе обзора спектры не откалиброваны по потоку и представлены в отсчетах, что не позволяет измерять абсолютные потоки в эмиссионных линиях. Однако эти данные могут использоваться для оценки эквивалентной ширины линий и соотношения потоков в парах близко расположенных линий, чего вполне достаточно для классификации АЯГ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рентгеновские спектры

Спектральный анализ проводился совместно по данным телескопов eROZITA и ART-XC. Спектры аппроксимировались в диапазоне энергий 0.2–12 кэВ с помощью ПО XSPEC v12.12.0⁴ (Арнауд, 1996). Для подгонки моделей использовалась W -статистика, которая учитывает наличие рентгеновского фона.

Для аппроксимации спектров использовалась модель степенного континуума с завалом на низких энергиях из-за фотопоглощения в Галактике и в самом объекте. В спектрах нескольких источников с большим значением внутреннего поглощения мы обнаружили избыток наблюдаемых отсчетов по сравнению с предсказанием степенной модели на энергиях ниже ~ 1 кэВ. Это превышение может быть вызвано небольшой неточностью в текущей версии матрицы отклика телескопа eROZITA. С другой стороны, в рентгеновских спектрах АЯГ второго типа на энергиях ниже 2 кэВ часто наблюдается дополнительное излучение (см., например,

Гуаинаци и др., 2005) на фоне поглощенного степенного континуума. Природа этого излучения может быть различной, и далеко не всегда ее удастся установить. В качестве возможных механизмов в литературе обсуждаются (см., например, Гуаинаци и др., 2007): 1) излучение центрального источника, рассеянное в разреженном газе за пределами газопылевого тора вокруг сверхмассивной черной дыры (СМЧД), 2) излучение газа в ядре галактики, фотоионизованного излучением и/или ударными волнами, связанными с активностью СМЧД, 3) излучение самой галактики, связанное с активным звездообразованием.

Определение природы наблюдаемого избытка излучения на низких энергиях требует уточнения матрицы отклика телескопа eROZITA, что выходит за рамки данной работы. Поэтому при аппроксимации спектров источников с таким избытком мы включили в спектральную модель дополнительную мягкую компоненту, которую описывали с помощью спектра теплового излучения горячей оптически-тонкой плазмы (АПЕС, Смит и др., 2001). Таким образом, использовались следующие две модели в XSPEC:

$$TBabs(zTBabs(cflux zpowerlaw)),$$

$$TBabs(zTBabs(cflux zpowerlaw) + apec),$$

где TBabs — поглощение в Галактике по данным обзора HI4PI (Бехти и др., 2016), zTBabs — внутреннее поглощение в системе отсчета АЯГ, cflux — поправленный за поглощение поток степенной компоненты в диапазоне энергий 2–10 кэВ.

При принятии решения о необходимости добавления мягкой компоненты в модель мы использовали тест отношения правдоподобий — если при добавлении мягкой компоненты значение C_{stat} уменьшалось более чем на 6 (что для двух степеней свободы соответствует статистической достоверности более 95%), то предпочтение отдавалось двухкомпонентной модели.

Результаты аппроксимации рентгеновских спектров приведены в табл. 3. Доверительные интервалы значений параметров приведены на уровне 90%. Сами спектры представлены на рис. 4, при этом спектры eROZITA были перебинированы для наглядности. Повторим, что при интерпретации значений спектральных параметров, приведенных в табл. 3, необходимо иметь в виду, что окончательный вывод о природе избытка на малых энергиях требует дальнейшего исследования и уточнения матрицы отклика телескопа eROZITA, что планируется сделать в последующих работах. При этом важно отметить, что параметры степенного закона (наклон и колонковая плотность водорода) не сильно меняются при добавлении в модель мягкой компоненты.

²<http://iraf.noao.edu/>

³www.galexin.org

⁴<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/xanadu/xspec>

Таблица 3. Рентгеновские спектральные параметры

Источник ART-XC	$N_{\text{H,MW}}$	N_{H}	Γ	F_{PL}	kT	A_{APEC}	dof	C_{stat}
Модели TBabs zTBabs(ZPL), TBabs (zTBabs ZPL + APEC)								
SRGA J001439.6+183503	0.4	109^{+85}_{-57}	$1.6^{+1.8}_{-1.4}$	$5.15^{+4.39}_{-1.81}$	—	—	19	33.6
		115^{+88}_{-57}	$1.7^{+1.8}_{-1.4}$	$5.33^{+2.95}_{-1.87}$	$0.77^{+0.29}_{-0.22}$	$0.5^{+0.4}_{-0.3} \times 10^{-5}$	17	21.8
SRGA J002240.8+804348	1.4	$0.4^{+0.3}_{-0.3}$	$1.90^{+0.16}_{-0.15}$	$3.11^{+0.51}_{-0.45}$	—	—	279	265.2
SRGA J010742.9+574419	3.2	<3.1	$1.9^{+0.4}_{-0.4}$	$1.24^{+0.49}_{-0.37}$	—	—	118	123.1
SRGA J021227.3+520953	1.5	<0.8	$2.04^{+0.37}_{-0.14}$	0.95 ± 0.19	—	—	155	146.5
SRGA J025208.4+482955	1.8	$3.2^{+1.4}_{-1.2}$	$1.7^{+0.4}_{-0.3}$	$2.04^{+0.69}_{-0.55}$	—	—	104	110.5
SRGA J045432.1+524003	3.4	$7.7^{+2.9}_{-2.5}$	$1.5^{+0.3}_{-0.3}$	$6.73^{+1.44}_{-1.24}$	—	—	102	102.1
SRGA J051313.5+662747	0.9	11^{+5}_{-4}	$1.5^{+0.6}_{-0.5}$	$3.32^{+1.05}_{-0.86}$	—	—	60	71.0
		15^{+7}_{-5}	$1.9^{+0.7}_{-0.6}$	$3.18^{+1.01}_{-0.81}$	$0.24^{+0.19}_{-0.19}$	$0.19^{+78}_{-0.11} \times 10^{-4}$	58	58.9
SRGA J110945.8+800815	0.4	$1.8^{+2.5}_{-1.7}$	$0.7^{+0.5}_{-0.4}$	$1.48^{+0.72}_{-0.55}$	—	—	47	50.3
SRGA J161251.4–052100	1.0	12^{+4}_{-3}	$1.9^{+0.5}_{-0.5}$	$2.61^{+0.82}_{-0.65}$	—	—	80	73.0
SRGA J161943.7–132609	1.5	<3.5	$0.9^{+0.5}_{-0.3}$	$2.49^{+0.97}_{-0.79}$	—	—	82	87.0
SRGA J182109.8+765819	0.5	34^{+16}_{-13}	$1.1^{+0.8}_{-0.6}$	$1.55^{+0.46}_{-0.40}$	—	—	58	62.8
SRGA J193707.6+660816	0.8	$0.32^{+0.14}_{-0.13}$	$2.33^{+0.10}_{-0.09}$	$1.24^{+0.13}_{-0.12}$	—	—	350	379.8
SRGA J200331.2+701332	1.0	$2.2^{+0.4}_{-0.4}$	$2.00^{+0.15}_{-0.14}$	$1.56^{+0.23}_{-0.20}$	—	—	314	352.8
SRGA J211149.5+722815	1.5	8^{+5}_{-4}	$1.2^{+0.5}_{-0.4}$	$1.34^{+0.40}_{-0.33}$	—	—	119	112.1
		14^{+5}_{-4}	$1.6^{+0.5}_{-0.4}$	$1.23^{+0.37}_{-0.30}$	$0.46^{+0.25}_{-0.17}$	$0.7^{+0.6}_{-0.4} \times 10^{-5}$	117	97.6

Примечание. $N_{\text{H,MW}}$, N_{H} — лучевые плотности газа в Галактике и в объекте соответственно, в единицах 10^{21} см^{-2} ; F_{PL} — поправленный за поглощение поток в основной степенной компоненте в наблюдаемом диапазоне 2–10 кэВ, в единицах $10^{-12} \text{ эрг с}^{-1} \text{ см}^{-2}$; kT — температура оптической тонкой плазмы в единицах кэВ, A_{APEC} — нормировка излучения этой плазмы в единицах $10^{-14} (4\pi)^{-1} [D_A(1+z)]^{-2} \int n_e n_H dV$, где D_A — угловое расстояние (см), dV — элемент объема (см^3), n_e и n_H — концентрация (см^{-3}) электронов и ядер водорода соответственно.

Оптические спектры

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 аппроксимировались гауссианами. Таким образом, для каждой линии определялись: центральная длина волны, ширина на полувысоте $FWHM_{\text{mes}}$, поток и эквивалентная ширина EW . Ширина широких бальмеровских линий

поправлялась на спектральное разрешение прибора: $FWHM = \sqrt{FWHM_{\text{mes}}^2 - FWHM_{\text{res}}^2}$, где $FWHM_{\text{res}}$ определялась для каждого диспергирующего элемента и для каждой щели как ширина на полувысоте линий в спектре калибровочных ламп.

Погрешности параметров линий излучения приводятся 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 приводят-

Таблица 4. Свойства активных ядер галактик, спектры которых получены в результате наблюдений на АЗТ-33ИК, а также архивных спектров 6dF

№	Объект	Оптический тип	z^1	$\log L_X^2$
1	SRGA J001439.6+183503	Sy2	0.01800 ± 0.00007	$42.58^{+0.27}_{-0.19}$
2	SRGA J002240.8+804348	Sy1	0.11470 ± 0.00130	$44.03^{+0.07}_{-0.07}$
3	SRGA J010742.9+574419	Sy1.9	0.06992 ± 0.00030	$43.17^{+0.14}_{-0.16}$
4	SRGA J021227.3+520953	Sy1	0.23810 ± 0.00011	$44.21^{+0.08}_{-0.09}$
5	SRGA J025208.4+482955	Sy1.9	0.03366 ± 0.00008	$42.73^{+0.13}_{-0.14}$
6	SRGA J045432.1+524003	Sy1.9	0.03117 ± 0.00012	$43.18^{+0.08}_{-0.09}$
7	SRGA J051313.5+662747	Sy2	0.01479 ± 0.00008	$42.21^{+0.12}_{-0.13}$
8	SRGA J110945.8+800815	Sy2	0.18879 ± 0.00031	$44.18^{+0.17}_{-0.20}$
9	SRGA J161251.4–052100 ⁺	Sy2	0.03055	$42.75^{+0.12}_{-0.13}$
10	SRGA J161943.7–132609 ⁺	Sy1.9	0.07891	$43.58^{+0.14}_{-0.17}$
11	SRGA J182109.8+765819	Sy2	0.06310 ± 0.00040	$43.17^{+0.11}_{-0.13}$
12	SRGA J193707.6+660816	NLSy1	0.07136 ± 0.00012	$43.19^{+0.04}_{-0.05}$
13	SRGA J200331.2+701332	Sy1	0.09759 ± 0.00002	$43.58^{+0.06}_{-0.06}$
14	SRGA J211149.5+722815	Sy2	0.10611 ± 0.00011	$43.59^{+0.11}_{-0.12}$

¹ Значения красных смещений измерены по линиям излучения.² Поправленная за поглощение светимость в диапазоне энергий 2–10 кэВ в единицах эрг/с.⁺ Красные смещения взяты из каталога обзора 6dF.Ошибка красного смещения соответствует 68% доверительному интервалу, а для светимости — 90% без учета ошибки на z .

ся. Доверительные интервалы на эквивалентные ширины (EW) линий получались с помощью метода Монте-Карло. Предполагая, что ошибки на поток подчиняются нормальному распределению, были разыграны 1000 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. Оцененные значения параметров линий для каждого из источников приведены ниже в табл. 6.

Красные смещения объектов определялись по узким линиям излучения и приведены в системе отсчета обсерватории. Для источников из спектроскопического обзора 6dF использовались красные смещения из этого же каталога. Результат классификации источников и измерений их красных смещений приведен в табл. 4.

Результаты по отдельным объектам

SRGA J001439.6+183503. Этот рентгеновский источник присутствует в каталоге обзора перенаведений обсерватории XMM-Newton (Исследовательский научный центр XMM-Newton, 2018; Сэкстон и др., 2008) и в каталоге точечных источников, зарегистрированных телескопом XRT обсерватории Swift (Эванс и др., 2019); источники XMMSL2 J001439.6+183450 и 2SXPS J001440.0+183455 соответственно. В области локализации ART-XC и ePOZITA находится галактика NGC 52, наблюдаемая с ребра (рис. 1). Она расположена на красном смещении $z = 0.01817$ (согласно базе данных SIMBAD) и имеет ИК-цвет $W1 - W2 = 0.26$. С этим объектом можно связать также радиисточник NVSS J001440+183455.

В оптическом спектре (рис. 5, табл. 6) видны слабые узкие линии излучения $H\alpha$ и $[NII]\lambda 6583$. Также видны линии поглощения фраунгоферовской

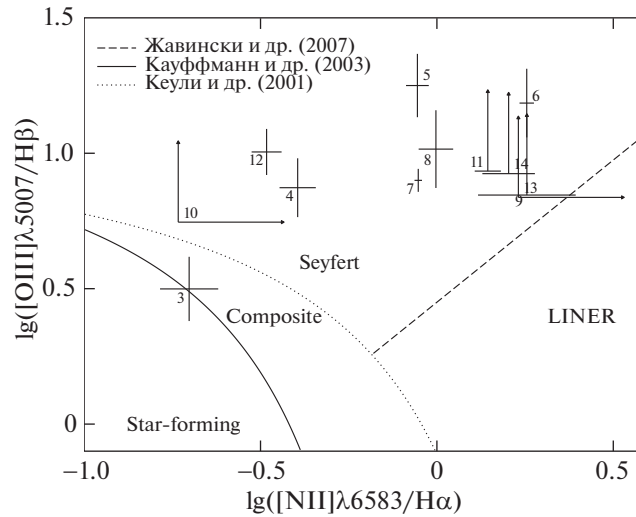


Рис. 2. Расположение исследуемых АЯГ на BPT-диаграмме (Балдвин и др., 1981). На графике представлены 1σ доверительные интервалы отношений потоков. Стрелками указаны нижние 2σ -пределы. Разграничительные линии между разными классами галактик взяты из работ: Кауффманн и др. (2003) — сплошная линия, Кеули и др. (2001) — пунктирная линия, Жавински и др. (2007) — штриховая линия. Источники отмечены по номерам, указанным в табл. 1. На диаграмму не попали источники SRGA J001439.6+183503 (1) из-за отсутствия линий $[OIII]\lambda 5007$ и $H\beta$, SRGA J002240.8+804348 (2) из-за невозможности надежно выделить в спектре узкие линии $H\alpha$ и $[NII]\lambda 6583$.

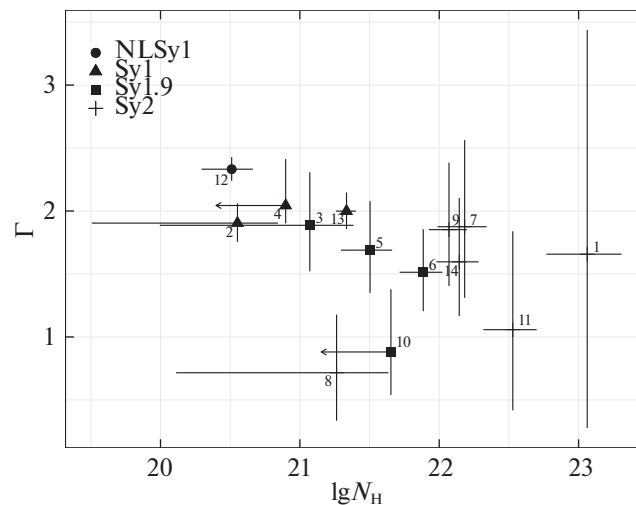


Рис. 3. Зависимость наклона рентгеновского степенного континуума от внутренней колонковой плотности для 14 АЯГ (по наилучшим моделям), исследованных по данным телескопов ART-XC и eROSITA (см. табл. 3). Точками разной формы указаны оптические типы источников. Ошибки и верхние пределы соответствуют 90% доверительным интервалам. Источники указаны по номерам из табл. 1.

серии MgI и NaD. Красное смещение измерено по линиям излучения: $z = 0.01800 \pm 0.00007$.

Отношение потоков в узких линиях $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha) = 0.43 \pm 0.10$ указывает на наличие активного ядра у галактики согласно BPT-диаграмме (см. рис. 2), а отсутствие широкой компоненты у линии $H\alpha$ говорит о том, что это сейфертовская галактика 2-го типа (Sy2). Отсутствие линий излучения $[OIII]\lambda 5007$ и $H\beta$ в

принципе допускает, что это объект типа LINER, но это крайне маловероятно, принимая во внимание большую рентгеновскую светимость объекта ($\sim 3 \times 10^{42}$ эрг s^{-1} в диапазоне 4–12 кэВ). Слабость эмиссионных линий в оптическом спектре, вероятно, связана с тем, что активное ядро наблюдается через большую толщу межзвездного вещества галактики.

Моделирование рентгеновского спектра (рис. 4)

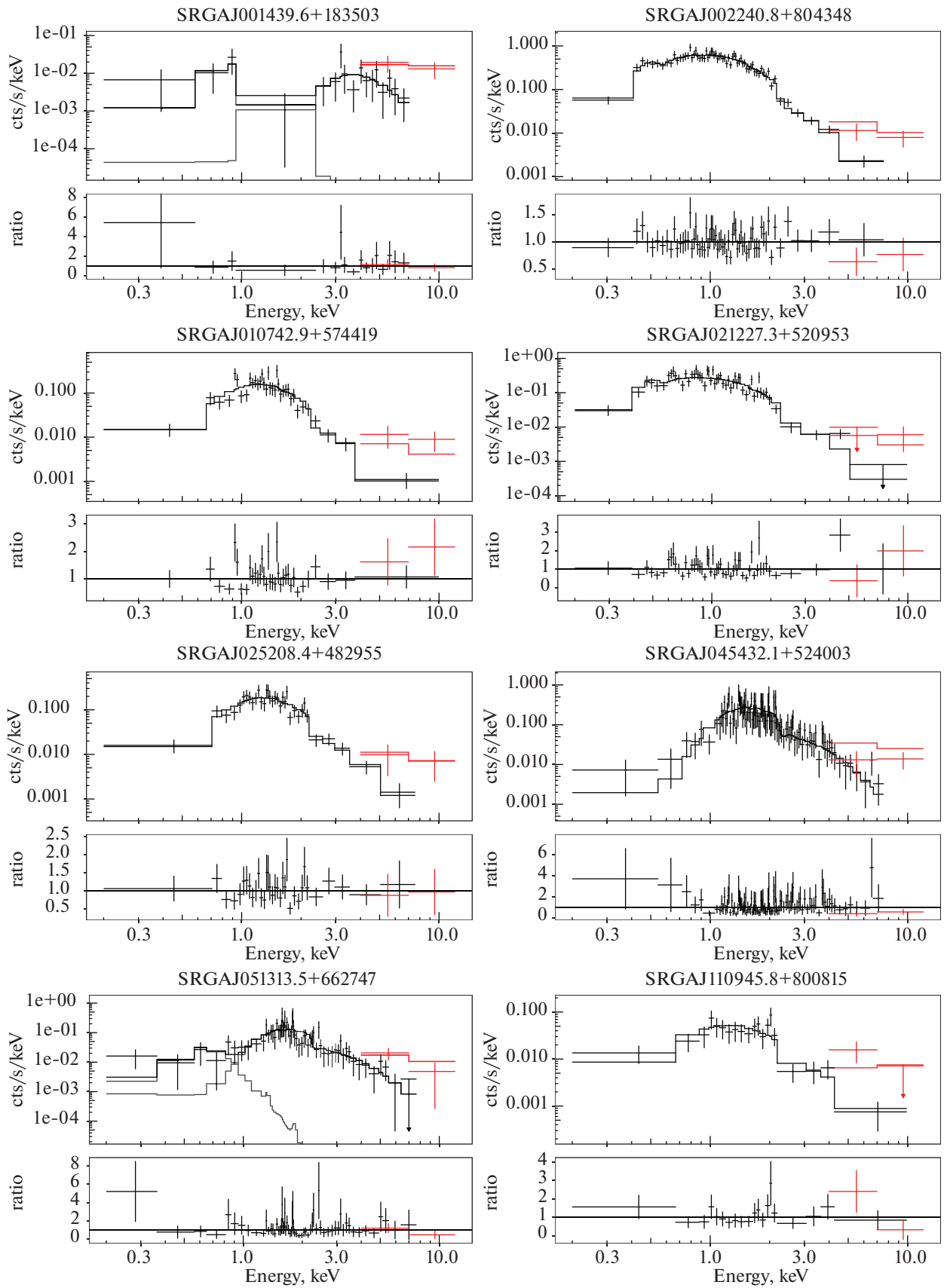


Рис. 4. Рентгеновские спектры по данным телескопов eРОЗИТА (черным) и ART-XC (красным), а также модели наилучшей аппроксимации (см. табл. 3). Дополнительно выделена мягкая компонента, если требуется. Стрелками показаны верхние пределы на уровне значимости 2σ . На нижних панелях показано отношение измерений к модели.

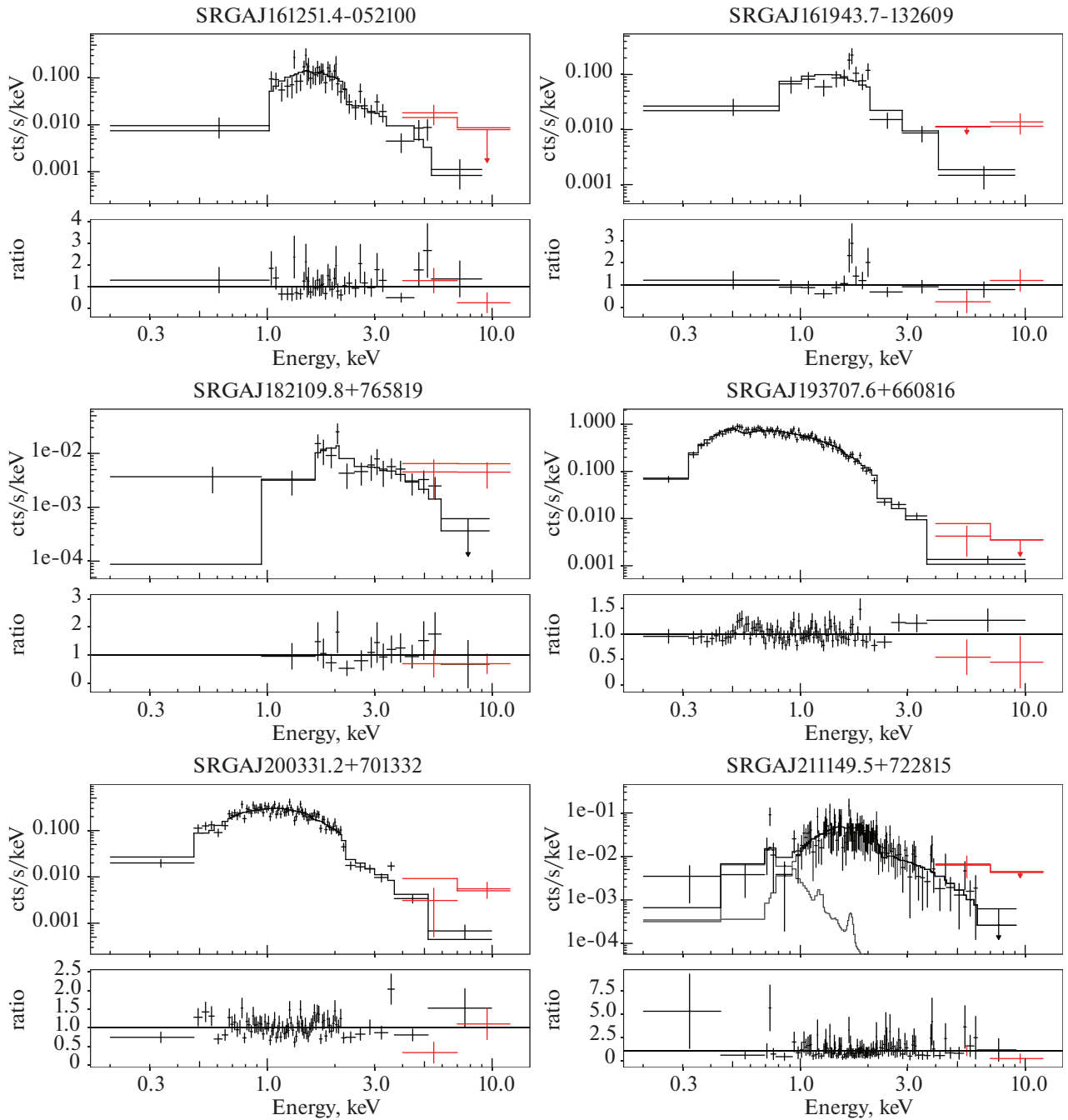


Рис. 4. Окончание.

показывает наличие в источнике существенного поглощения: $N_{\text{H}} > 5 \times 10^{22} \text{ см}^{-2}$ на уровне достоверности 90% (рис. 3, табл. 3). Это согласуется со слабостью эмиссионных линий в оптическом спектре и, возможно, тоже в основном связано с толщиной межзвездного вещества в галактике, наблюдаемой с ребра, а не с газопылевым тором около сверхмассивной черной дыры.

SRGA J002240.8+804348. Этот рентгеновский источник был открыт в ходе обзора все-

го неба обсерватории ROSAT (RASS, Боллер и др., 2016): 2RXS J002247.6+804418. В области локализации ART-XC и eROSITA находится протяженный оптический–ИК объект WISEA J002243.69+804346.1 (рис. 1) с характерным для АЯГ цветом $W1 - W2 = 0.61$.

В спектре галактики (рис. 5, табл. 6) наблюдаются эмиссионные линии серии Бальмера — широкие $H\alpha$ и $H\beta$. Также присутствуют запрещенные

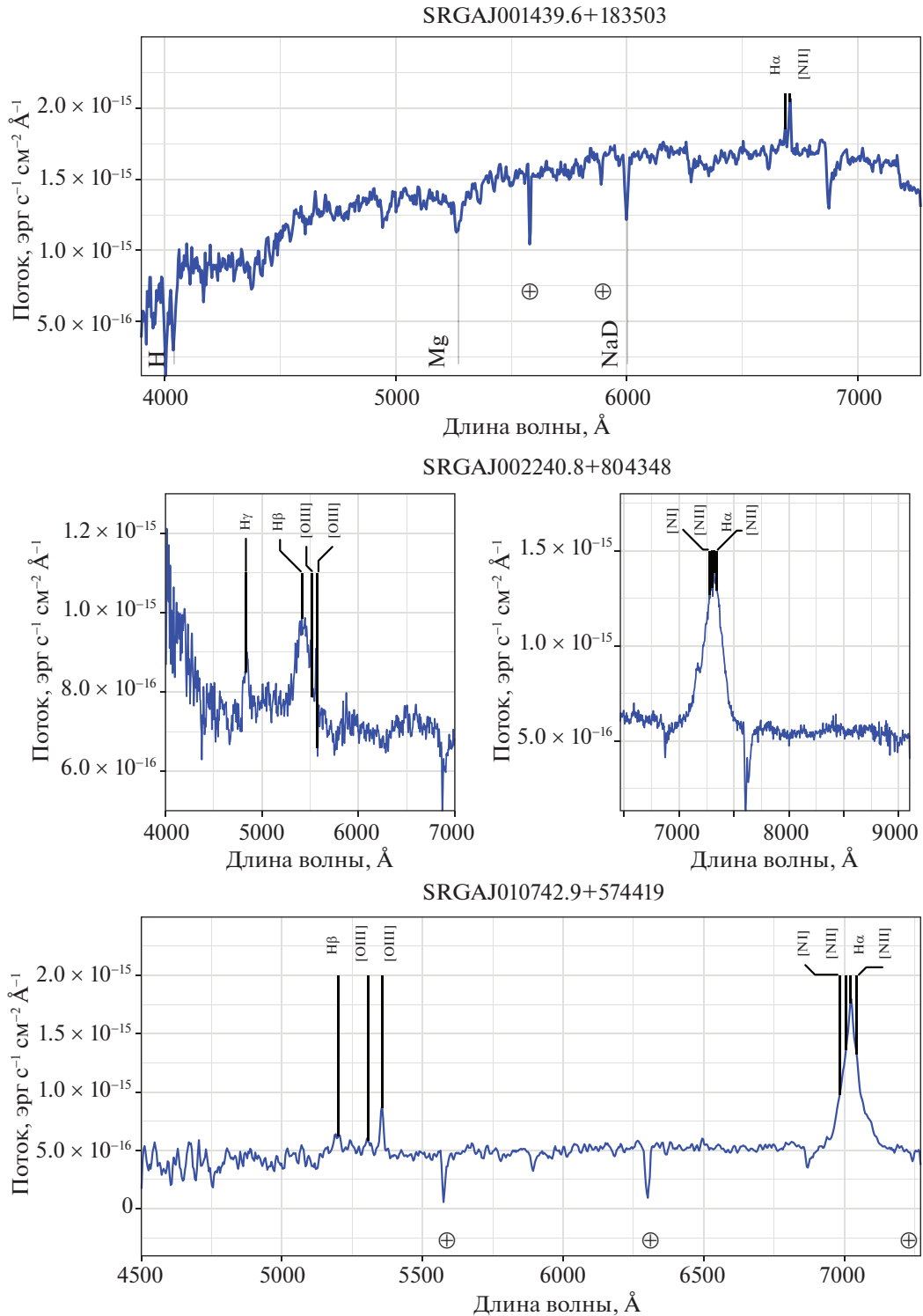


Рис. 5. Оптические спектры с отмеченными основными линиями излучения и поглощения.

линии $[OIII]\lambda 4959$, $[OIII]\lambda 5007$. Красное смещение источника $z = 0.1147 \pm 0.0013$.

На фоне широкой линии $H\alpha$ не удастся выделить ее узкую компоненту и узкую линию $[NII]\lambda 6583$. В случае линии $H\beta$ можно поставить

только верхний предел на поток в узкой компоненте и, соответственно, 2σ -нижний предел на отношение потоков $\lg([OIII]\lambda 5007/H\beta) > 0.6$. Однако наличие широких компонент $H\alpha$ и $H\beta$ позволяет уверенно сказать, что это сейфертовская галактика

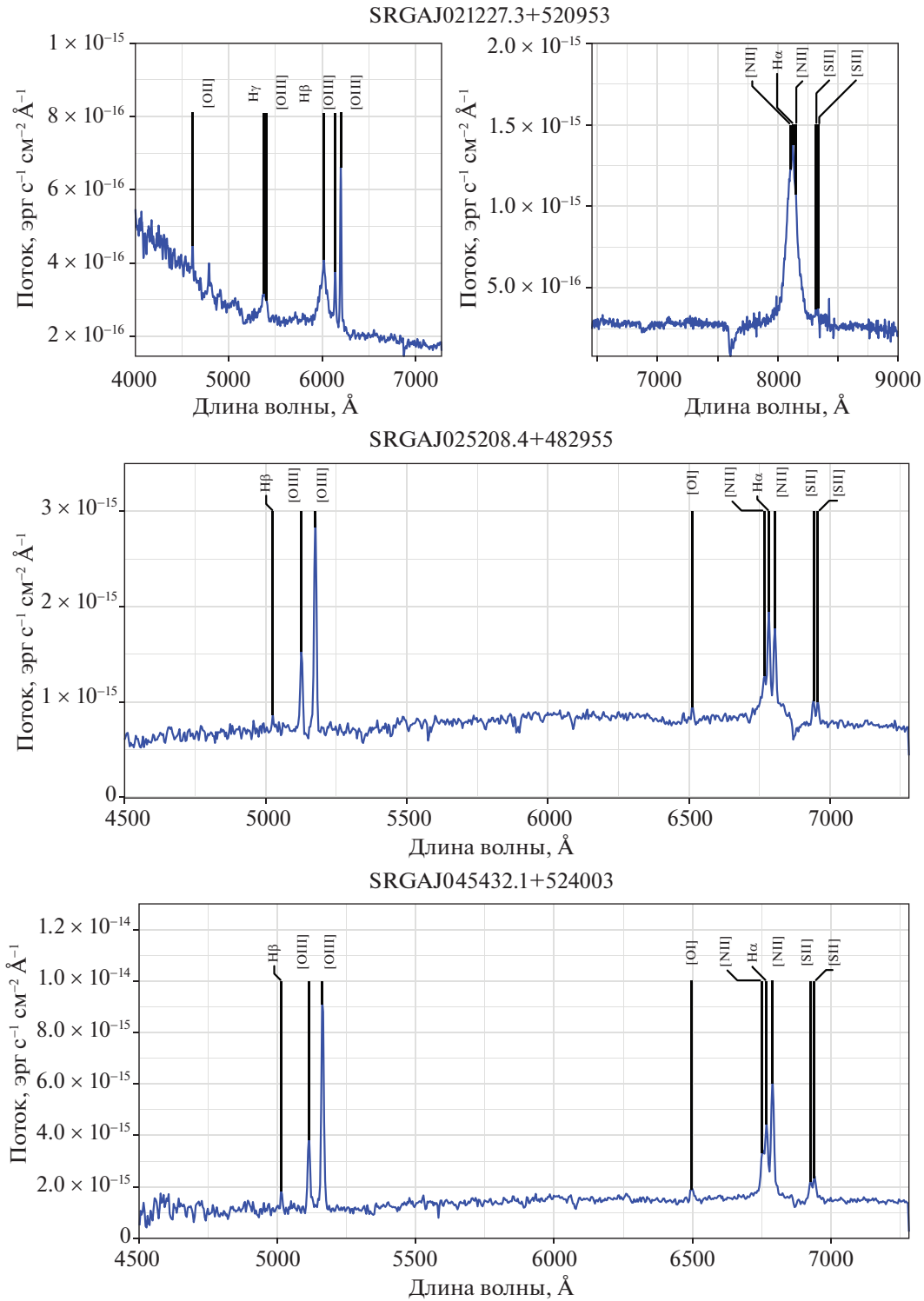


Рис. 5. Продолжение.

1-го типа (Sy1). В рентгеновском спектре есть указание только на небольшое внутреннее поглощение ($N_H \lesssim 10^{21} \text{ см}^{-2}$).

SRGAJ010742.9+574419. Это новый рентгеновский источник, обнаруженный в первый год

обзора неба СРГ/ART-XC. В области локализации ART-XC и eROSITA находится протяженный оптический и ИК-объект WISEA J010743.11+574417.7 (рис. 1) с характерным для АЯГ цветом $W1 - W2 = 0.78$.

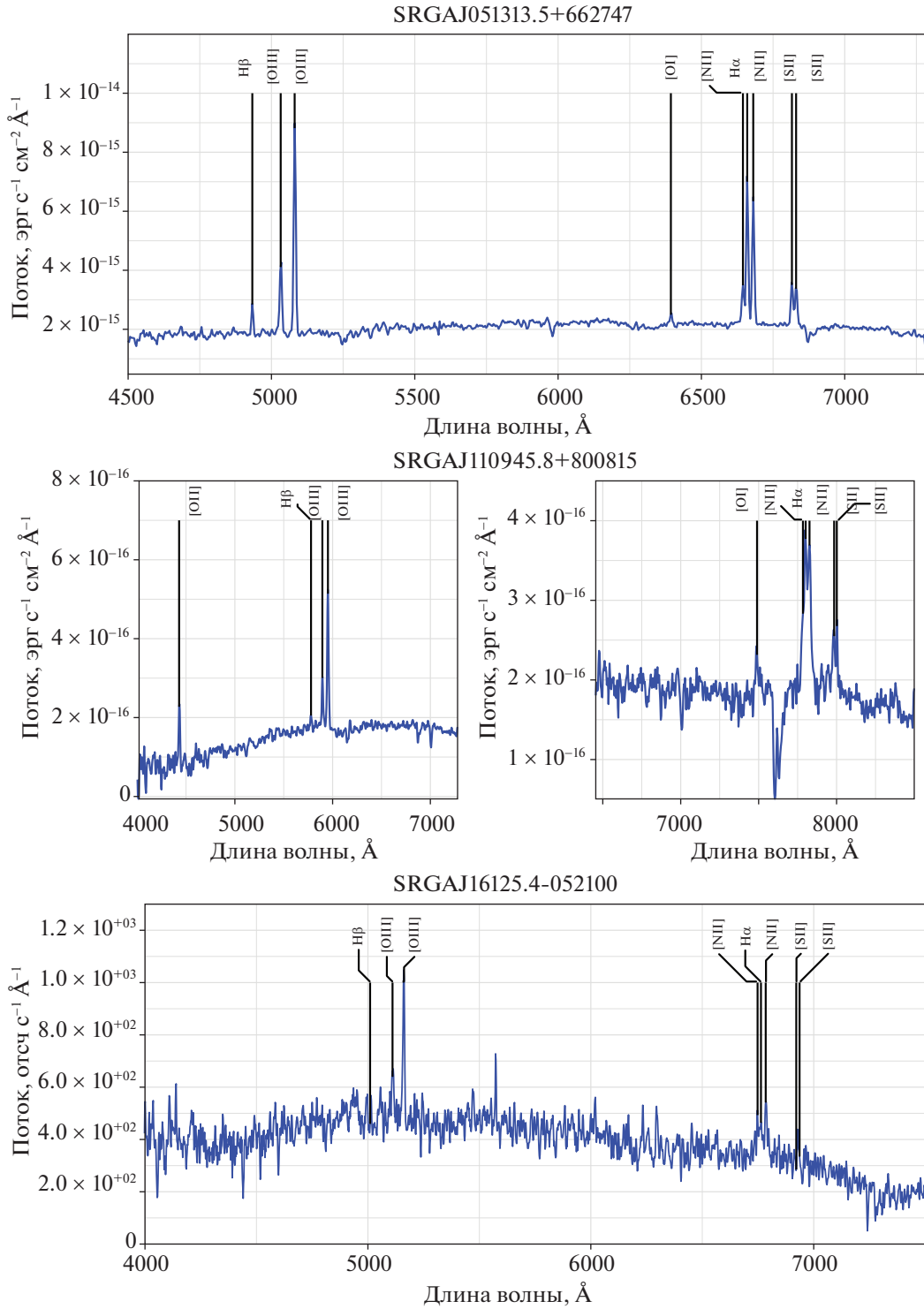


Рис. 5. Продолжение.

В оптическом спектре (рис. 5, табл. 6) наблюдаются широкая линия $H\alpha$ и узкие линии $H\beta$, $[\text{OIII}]\lambda 4959$, $[\text{OIII}]\lambda 5007$, $H\alpha$, $[\text{NII}]\lambda 6583$. Красное смещение источника составляет $z = 0.06992 \pm 0.00030$.

Отношения потоков в линиях
 $\lg([\text{OIII}]\lambda 5007/H\beta) = 0.50 \pm 0.12$,
 $\lg([\text{NII}]\lambda 6584/H\alpha) = -0.70 \pm 0.08$
 согласно ВРТ-диаграмме (рис. 2) и наличие широкой компоненты $H\alpha$ с $FWHM > 2000 \text{ км с}^{-1}$ с

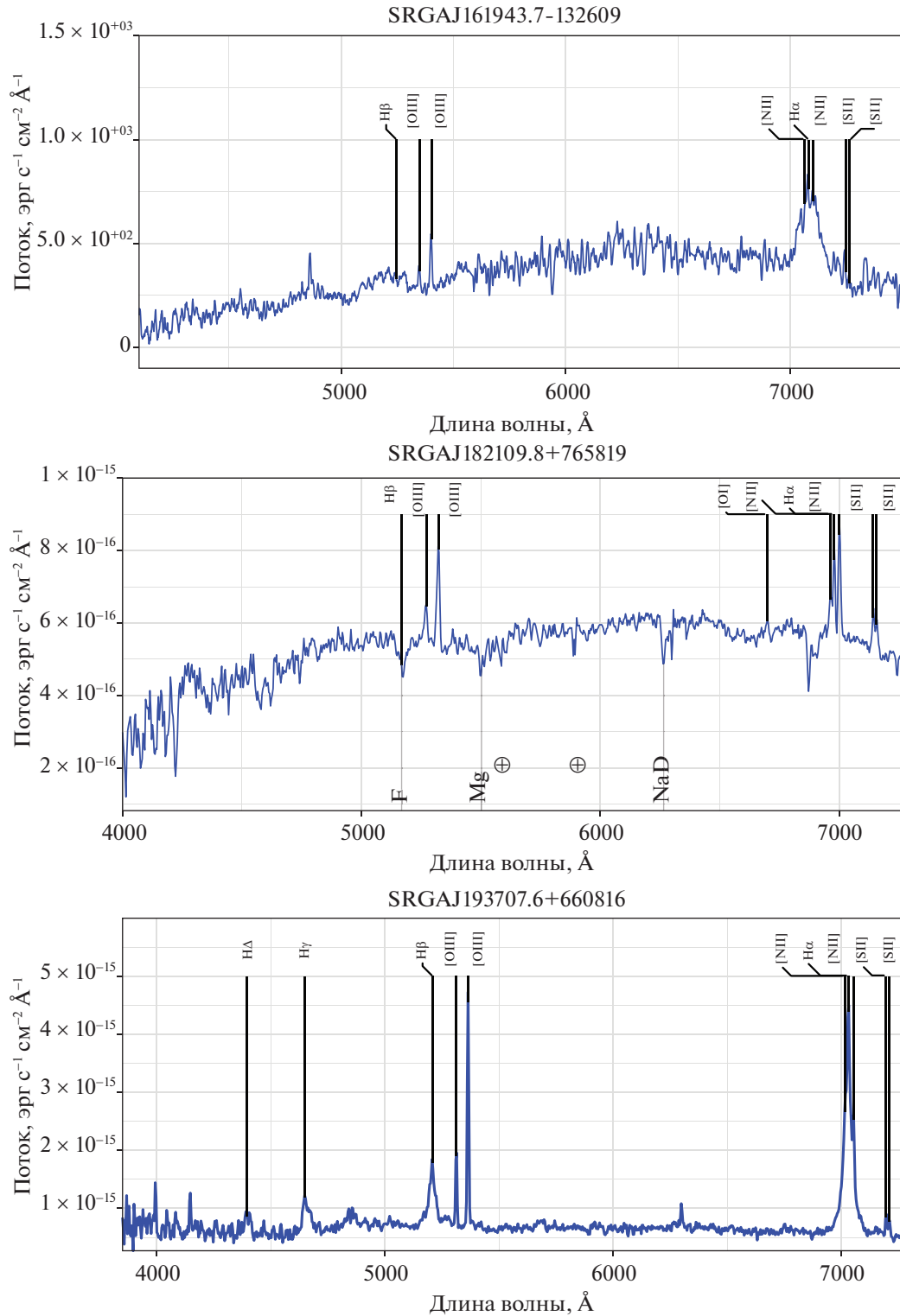


Рис. 5. Продолжение.

отсутствием широкой компоненты H β позволяют классифицировать объект как Sy1.9. На ВРТ-диаграмме источник попадает в область галактик с композитным спектром, скорее всего, из-за того, что мы не можем для него надежно выделить узкие

линии H α и [NII] λ 6583. В рентгеновском спектре не выявлено существенного поглощения.

SRGA J021227.3+520953. Этот рентгеновский источник был открыт в обзоре RASS:

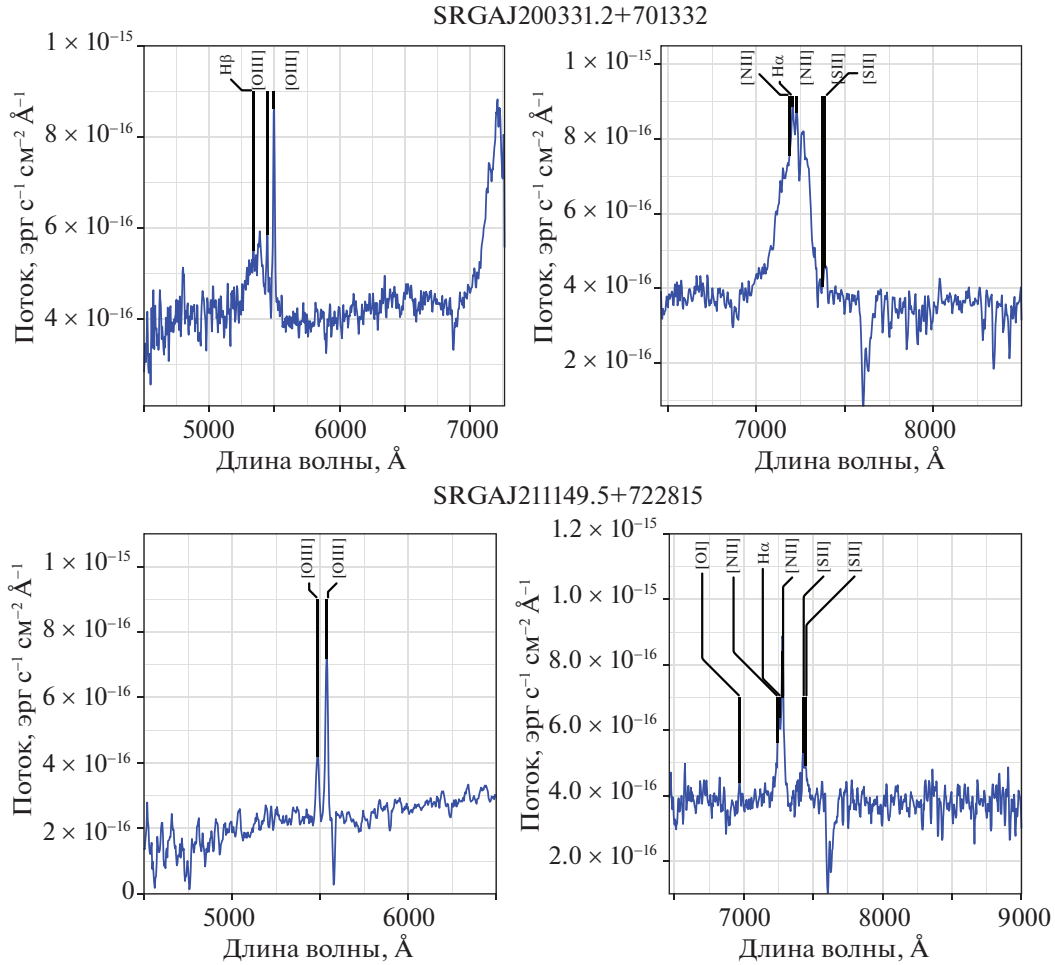


Рис. 5. Окончание.

2RXS J021225.5+521004. В области локализации ART-ХС и еРОЗИТА находятся протяженный оптический и ИК-объект 2MASS J02122646+5209533 (рис. 1) с характерным для АЯГ цветом $W1 - W2 = 0.89$.

В оптическом спектре (рис. 5, табл. 6) видны линии излучения бальмеровской серии с широкими компонентами $H\alpha$, $H\beta$, а также узкие запрещенные линии $[OIII]\lambda 4959$, $[OIII]\lambda 5007$, $[NII]\lambda 6548$, $[NII]\lambda 6583$. Измерено красное смещение $z = 0.23810 \pm 0.00011$. Отношения потоков в узких линиях $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha) = -0.39 \pm 0.05$, $\lg([OIII]\lambda 5007/H\beta) = 0.87 \pm 0.11$ (рис. 2) и наличие широкой компоненты $H\alpha$, $H\beta$ позволяют классифицировать объект как Sy1. В рентгеновском спектре не выявлено существенного поглощения.

SRGA J025208.4+482955. Этот рентгеновский источник был открыт в обзоре RASS: 2RXS J025208.8+482956. В области локализации ART-ХС и еРОЗИТА находятся протяженный оптический и ИК-объект WISEA J025209.64+482959.4 (рис. 1) с характерным для АЯГ цветом $W1 - W2 = 0.71$.

В оптическом спектре (рис. 5, табл. 6) видны линии излучения: широкая $H\alpha$, узкие $H\alpha$, $H\beta$ и запрещенные линии $[OIII]\lambda 4959$, $[OIII]\lambda 5007$, $[OI]\lambda 6300$, $[NII]\lambda 6548$, $[NII]\lambda 6583$, $[SII]\lambda 6716$, $[SII]\lambda 6730$. Измеренное красное смещение $z = 0.03366 \pm 0.00008$. Отношения потоков в узких линиях $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha) = -0.06 \pm 0.03$, $\lg([OIII]\lambda 5007/H\beta) = 1.25 \pm 0.12$ (рис. 2) и наличие широкой компоненты $H\alpha$ позволяют классифицировать объект как Sy1.9. В рентгеновском спектре выявлено умеренное поглощение ($N_H \approx 3 \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$).

SRGA J045432.1+524003. Это новый рентгеновский источник, обнаруженный в обзоре СРГ/ART-ХС. В области локализации ART-ХС и еРОЗИТА находится галактика LEDA 16297 (рис. 1) с красным смещением $z = 0.03123$ (SIMBAD) и цветом $W1 - W2 = 0.39$, с которой можно связать также радиисточник NVSS J045432+524009.

В оптическом спектре (рис. 5, табл. 6) видны линии излучения: широкая и узкая $H\alpha$, узкая $H\beta$

Таблица 5. Массы, болометрические светимости и эддингтоновские отношения для центральных черных дыр в галактиках типа Sy1 и NLSy1

Объект	Масса ЧД, $10^8 M_\odot$	$L_{\text{bol}}, 10^{44} \text{ эрг с}^{-1}$	λ_{Edd}
SRGAJ002240.8+804348	2.6 ± 0.6	12 ± 2	0.034 ± 0.009
SRGAJ021227.3+520953	1.4 ± 0.3	18 ± 4	0.10 ± 0.03
SRGAJ193707.6+660816	0.12 ± 0.02	1.7 ± 0.2	0.11 ± 0.02
SRGAJ200331.2+701332	2.2 ± 0.5	4.1 ± 0.6	0.014 ± 0.004

Примечание. L_{bol} — болометрическая светимость, полученная для фиксированной болометрической поправки $L_{\text{bol}}/L_X = 11$; λ_{Edd} — отношение болометрической светимости к эддингтоновской. Ошибки соответствуют 68% доверительному интервалу.

и запрещенные линии [OIII] λ 4959, [OIII] λ 5007, [OI] λ 6300, [NII] λ 6548, [NII] λ 6583, [SII] λ 6716, [SII] λ 6730. Измеренное красное смещение $z = 0.03117 \pm 0.00012$. По соотношению потоков в узких линиях $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha) = 0.255 \pm 0.020$, $\lg([OIII]\lambda 5007/H\beta) = 1.19 \pm 0.13$ (рис. 2) и наличию широкой компоненты линии $H\alpha$ объект можно классифицировать как Sy1.9. В рентгеновском спектре выявлено существенное поглощение ($N_H \sim 10^{22} \text{ см}^{-2}$).

SRGAJ051313.5+662747. Этот рентгеновский источник присутствует в каталоге 2SXPS: 2SXPSJ051316.0+662750. В области локализации ART-XC и ePOZITA находится галактика 2MASXJ05131637+6627498 (рис. 1) на красном смещении $z = 0.01491$ (SIBMAD), с цветом $W1 - W2 = 0.50$, с которой можно связать также радиоисточник NVSS J051316+662801.

В оптическом спектре (рис. 5, табл. 6) видны узкие линии излучения бальмеровской серии $H\beta$, $H\alpha$, а также узкие запрещенные линии [OIII] λ 4959, [OIII] λ 5007, [OI] λ 6300, [NII] λ 6548, [NII] λ 6583, [SII] λ 6716, [SII] λ 6730. Измеренное красное смещение $z = 0.01479 \pm 0.00008$. Отношения потоков в узких линиях $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha) = -0.053 \pm 0.011$, $\lg([OIII]\lambda 5007/H\beta) = 0.90 \pm 0.04$ (рис. 2) и отсутствие широких компонент $H\alpha$, $H\beta$ позволяют классифицировать объект как Sy2. Это согласуется со значительным поглощением ($N_H \sim 10^{22} \text{ см}^{-2}$) в рентгеновском спектре.

SRGAJ110945.8+800815. Это новый рентгеновский источник, обнаруженный в обзоре неба CPГ/ART-XC. В области локализации ART-XC и ePOZITA находится ИК и радиоисточник WISEAJ110943.77+800805.6 = NVSSJ110944+800807 (рис. 1), с характерным для АЯГ цветом $W1 - W2 = 0.76$. Необходимо отметить, что всего в $6''$ от этого объекта находятся звезда ~ 15 величины (расположенная на расстоянии ~ 1.5 кпк от Солнца, Gaia DR3, Коллаборация Gaia, 2022).

Она находится на границе 98% области локализации ePOZITA, и нельзя исключить, что она вносит какой-то вклад в измеренный телескопами ART-XC и ePOZITA рентгеновский поток, если имеет активную корону или, например, является катаклизмической переменной.

В оптическом спектре (рис. 5, табл. 6) видны узкие линии излучения $H\beta$, $H\alpha$ и узкие запрещенные линии [OII] λ 3727, [OIII] λ 4959, [OIII] λ 5007, [OI] λ 6300, [NII] λ 6548, [NII] λ 6583, [SII] λ 6716, [SII] λ 6730. Измеренное красное смещение $z = 0.18879 \pm 0.00031$. Отношения потоков в узких линиях $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha) = 0.00 \pm 0.05$, $\lg([OII]\lambda 5007/H\beta) = 1.02 \pm 0.14$ (рис. 2) и отсутствие широких компонент $H\alpha$, $H\beta$ позволяют классифицировать объект как Sy2. Несмотря на это, в рентгеновском спектре внутреннее поглощение статистически значимо не выявляется, а верхний предел на колонку поглощения составляет $N_H < 4 \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$ на уровне достоверности 90%. При этом степенной континуум оказывается необычайно жестким для АЯГ, с наклоном $\Gamma = 0.7^{+0.5}_{-0.4}$. Это, возможно, указывает на то, что спектр этого источника на самом деле имеет более сложную форму, что невозможно выяснить из-за недостаточного количества фотонов в исследуемом спектре.

SRGAJ161251.4–052100. Этот рентгеновский источник был открыт в обзоре RASS: 2RXSJ161250.6–052118. В области локализации ART-XC и ePOZITA находится галактика LEDA 3097794 (рис. 1), с красным смещением $z = 0.03054$ (SIMBAD, на основе обзора 6dF) и характерным для АЯГ ИК-цветом $W1 - W2 = 0.78$.

В оптическом спектре (рис. 5, табл. 6) видны узкие линии излучения серии Бальмера $H\alpha$, $H\beta$ и узкие запрещенные линии [OIII] λ 4959, [OIII] λ 5007, [NII] λ 6548, [NII] λ 6583. Отношения потоков в узких линиях $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha) = 0.26 \pm 0.14$,

Таблица 6. 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, Å	Поток, 10^{-15} эрг с $^{-1}$ см $^{-2}$	Экв. ширина, Å	FWHM, 10^2 км/с
SRGA J001439.6+183503				
H α	6681	1.4 ± 0.3	-0.81 ± 0.20	—
[NII] λ 6583	6701	3.8 ± 0.4	-2.24 ± 0.25	—
SRGA J002240.8+804348				
H γ , широкая	4847	9.3 ± 2.0	-16 ± 5	46 ± 9
H β , широкая	5440	35.6 ± 1.7	-48.1 ± 2.5	89 ± 5
H β	5440	<0.7	>-0.9	—
[OIII] λ 4959	5524	1.0 ± 0.4	-1.4 ± 0.5	—
[OIII] λ 5007	5577	2.6 ± 0.5	-3.5 ± 0.7	—
H α , широкая	7316	128.8 ± 2.1	-221 ± 4	72.1 ± 1.2
SRGA J010742.9+574419				
H β	5200	1.7 ± 0.4	-3.4 ± 1.1	—
[OIII] λ 4959	5304	1.4 ± 0.4	-2.9 ± 0.8	—
[OIII] λ 5007	5356	5.4 ± 0.5	-11.2 ± 1.2	—
[NII] λ 6548	7007	0.56 ± 0.24	-0.8 ± 0.7	—
H α , широкая	7023	70.9 ± 2.0	-140 ± 6	37.5 ± 1.2
H α	7023	8.4 ± 1.0	-17 ± 4	—
[NII] λ 6583	7045	1.67 ± 0.24	-2.3 ± 2.0	—
SRGA J021227.3+520953				
H β , широкая	6018	11.8 ± 0.7	-51 ± 3	58 ± 4
H β	6018	0.80 ± 0.20	-3.5 ± 0.9	—
[OIII] λ 4959	6140	2.14 ± 0.16	-9.5 ± 0.8	—
[OIII] λ 5007	6200	5.96 ± 0.20	-27.0 ± 1.0	—
[NII] λ 6548	8105	0.37 ± 0.08	-1.14 ± 0.24	—
H α , широкая	8116	79.8 ± 0.8	-244 ± 4	38.7 ± 0.4
H α	8124	2.75 ± 0.26	-8.4 ± 0.8	—
[NII] λ 6583	8149	1.11 ± 0.08	-3.4 ± 0.7	—
[SII] λ 6716	8316	0.55 ± 0.14	-1.8 ± 0.5	—
[SII] λ 6730	8333	0.58 ± 0.14	-1.9 ± 0.5	—
SRGA J025208.4+482955				
H β	5026	1.3 ± 0.3	-1.9 ± 0.5	—
[OIII] λ 4959	5127	8.4 ± 0.4	-11.9 ± 0.5	—

Таблица 6. Продолжение

Линия	Длина волны, Å	Поток, 10^{-15} эрг с $^{-1}$ см $^{-2}$	Экв. ширина, Å	$FWHM$, 10^2 км/с
[OIII]λ5007	5176	22.6 ± 0.5	-31.9 ± 0.7	—
[OI]λ6300	6513	1.27 ± 0.22	-1.6 ± 0.3	—
[NII]λ6548	6769	2.3 ± 0.3	-2.9 ± 0.4	—
Hα, широкая	6784	26.8 ± 1.2	-33.9 ± 1.6	41.7 ± 2.4
Hα	6784	8.4 ± 0.4	-10.6 ± 0.6	—
[NII]λ6583	6804	7.4 ± 0.4	-9.3 ± 0.5	—
[SII]λ6716	6942	2.34 ± 0.23	-2.99 ± 0.29	—
[SII]λ6730	6957	2.20 ± 0.22	-2.81 ± 0.29	—
SRGA J045432.1+524003				
Hβ	5015	5.8 ± 1.7	-5.1 ± 1.5	—
[OIII]λ4959	5114	29.5 ± 1.7	-25.5 ± 1.5	—
[OIII]λ5007	5163	88.3 ± 2.2	-76.1 ± 2.5	—
[OI]λ6300	6498	5.7 ± 0.8	-3.8 ± 0.5	—
[NII]λ6548	6754	17.0 ± 0.5	-11.3 ± 0.4	—
Hα	6769	28.3 ± 1.3	-19.0 ± 0.9	—
Hα, широкая	6769	52 ± 3	-35 ± 2	41 ± 3
[NII]λ6583	6789	50.9 ± 0.5	-34.1 ± 1.0	—
[SII]λ6716	6927	8.9 ± 0.7	-6.0 ± 0.5	—
[SII]λ6730	6942	10.7 ± 0.7	-7.2 ± 0.5	—
SRGA J051313.5+662747				
Hβ	4933	8.0 ± 0.8	-4.3 ± 0.4	—
[OIII]λ4959	5033	23.0 ± 0.8	-12.3 ± 0.5	—
[OIII]λ5007	5081	64 ± 1	-34.1 ± 0.6	—
[OI]λ6300	6394	3.8 ± 0.5	-1.78 ± 0.23	—
[NII]λ6548	6645	12.6 ± 0.6	-5.80 ± 0.24	—
Hα	6660	43.8 ± 0.7	-20.1 ± 0.3	—
[NII]λ6583	6681	38.8 ± 0.7	-17.8 ± 0.4	—
[SII]λ6716	6816	13.0 ± 0.6	-5.90 ± 0.26	—
[SII]λ6730	6831	11.8 ± 0.6	-5.38 ± 0.29	—
SRGA J110945.8+800815				
[OII]λ3727	4432	2.3 ± 0.4	-27 ± 6	—
Hβ	5779	0.52 ± 0.17	-3.2 ± 0.9	—
[OIII]λ4959	5896	1.91 ± 0.26	-11.2 ± 1.5	—

Таблица 6. Продолжение

Линия	Длина волны, Å	Поток, 10^{-15} эрг с $^{-1}$ см $^{-2}$	Экв. ширина, Å	$FWHM$, 10^2 км/с
[OIII]λ5007	5952	5.37 ± 0.24	-31.4 ± 1.7	—
[OI]λ6300	7488	0.91 ± 0.19	-5.1 ± 1.1	—
[NII]λ6548	7781	1.35 ± 0.24	-7.4 ± 1.4	—
Hα	7802	3.30 ± 0.27	-17.6 ± 1.5	—
[NII]λ6583	7826	3.28 ± 0.25	-17.5 ± 1.4	—
[SII]λ6716	7980	1.04 ± 0.24	-5.6 ± 1.1	—
[SII]λ6730	8001	0.99 ± 0.24	-5.2 ± 1.1	—
SRGA J161251.4–052100				
Hα			-3.8 ± 1.7	—
[NII]λ6548			-2.4 ± 0.6	—
[NII]λ6583			-7.2 ± 1.9	—
Hβ			>-1.4	—
[OIII]λ4959			-3.8 ± 0.7	—
[OIII]λ5007			-10.3 ± 0.9	—
SRGA J161943.7–132609				
Hα			>-2.7	—
Hα, широкая			-87 ± 7	40.5 ± 2.7
[NII]λ6548			>-0.8	—
[NII]λ6583			-1.1 ± 1.1	—
Hβ			>-1.3	—
[OIII]λ4959			-3.7 ± 0.7	—
[OIII]λ5007			-9.5 ± 0.9	—
SRGA J182109.8+765819				
Hβ	5168	<0.4	>-0.8	—
[OIII]λ4959	5269	1.62 ± 0.22	-3.1 ± 0.4	—
[OIII]λ5007	5321	3.73 ± 0.25	-7.0 ± 0.4	—
[OI]λ6300	6698	0.38 ± 0.14	-0.69 ± 0.22	—
[NII]λ6548	6963	1.18 ± 0.15	-2.08 ± 0.24	—
Hα	6979	2.48 ± 0.17	-4.37 ± 0.29	—
[NII]λ6583	7001	3.46 ± 0.17	-6.1 ± 0.3	—
[SII]λ6716	7143	1.10 ± 0.14	-2.07 ± 0.27	—
[SII]λ6730	7157	0.83 ± 0.14	-1.59 ± 0.25	—

Таблица 6. Окончание

Линия	Длина волны, Å	Поток, 10^{-15} эрг с $^{-1}$ см $^{-2}$	Экв. ширина, Å	$FWHM$, 10^2 км/с
SRGA J193707.6+660816				
H δ , широкая	4397	12.2 ± 1.8	-23 ± 3	23.5 ± 2.0
H γ , широкая	4655	17.5 ± 1.5	-28.0 ± 2.6	22.2 ± 1.9
H β , широкая	5207	29.4 ± 1.3	-40.9 ± 2.1	23.3 ± 1.2
H β	5207	3.1 ± 0.6	-4.3 ± 1.0	—
[OIII] λ 4959	5313	10.4 ± 0.4	-14.7 ± 0.7	—
[OIII] λ 5007	5364	31.5 ± 0.6	-44.9 ± 1.1	—
[NII] λ 6548	7016	1.64 ± 0.25	-2.6 ± 0.4	—
H α , широкая	7032	115.1 ± 2.5	-185 ± 6	21.5 ± 0.4
H α	7032	15.0 ± 1.3	-24.1 ± 2.7	—
[NII] λ 6583	7053	4.93 ± 0.25	-8.1 ± 1.1	—
[SII] λ 6716	7197	3.0 ± 0.5	-5.4 ± 0.8	—
[SII] λ 6730	7212	2.1 ± 0.4	-3.8 ± 0.9	—
SRGA J200331.2+701332				
H β , широкая	5362	24.1 ± 2.3	-60 ± 7	103 ± 11
H β	5362	<0.8	>-2.1	—
[OIII] λ 4959	5445	1.4 ± 0.4	-3.6 ± 1.0	—
[OIII] λ 5007	5496	6.2 ± 0.5	-15.5 ± 1.4	—
[NII] λ 6548	7200	0.7 ± 0.4	-1.9 ± 1.5	—
H α , широкая	7216	85 ± 3	-230 ± 13	82 ± 3
H α	7216	<1.1	>-2.9	—
[NII] λ 6583	7239	2.2 ± 0.4	-6 ± 4	—
SRGA J211149.5+722815				
H β	5377	<0.9	>-4	—
[OIII] λ 4959	5486	3.0 ± 0.5	-13.2 ± 2.3	—
[OIII] λ 5007	5537	7.8 ± 0.6	-33 ± 3	—
[NII] λ 6548	7225	1.1 ± 0.6	-5.1 ± 2.0	—
H α	7252	5.5 ± 0.8	-12 ± 3	—
[NII] λ 6583	7279	8.7 ± 0.9	-21 ± 3	—
[SII] λ 6716	7430	2.4 ± 0.7	-5.6 ± 1.6	—
[SII] λ 6730	7450	1.4 ± 0.6	-3.9 ± 1.3	—

$\lg([OIII]\lambda 5007/H\beta) > 0.8$ и отсутствие широких компонент $H\alpha$, $H\beta$ позволяют классифицировать объект как Sy2 (рис. 2). Это согласуется со значительным поглощением ($N_H \sim 10^{22} \text{ см}^{-2}$) в рентгеновском спектре.

SRGA J161943.7–132609. Это новый рентгеновский источник, обнаруженный в обзоре неба СРГ/ART-XC. В области локализации ART-XC и ePOZITA находится галактика 2MASX J16194407–1326166 (рис. 1), с красным смещением $z = 0.07891$ (SIMBAD, на основе обзора 6dF) и характерным для ИК-цветом $W1 - W2 = 0.81$.

В оптическом спектре (рис. 5, табл. 6) видны широкая линия излучения $H\alpha$ и узкие запрещенные линии $[OIII]\lambda 4959$, $[OIII]\lambda 5007$, $[NII]\lambda 6548$, $[NII]\lambda 6583$. Отношения потоков в узких линиях $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha) > -0.7$, $\lg([OIII]\lambda 5007/H\beta) > 0.7$ (рис. 2) и наличие широкой компоненты $H\alpha$ позволяют классифицировать объект как Sy1.9. В рентгеновском спектре не выявлено значительного поглощения.

SRGA J182109.8+765819. Это новый рентгеновский источник, обнаруженный в обзоре неба СРГ/ART-XC. В области локализации ART-XC и ePOZITA находится галактика LEDA 2772547 (рис. 1), с характерным для АЯГ цветом $W1 - W2 = 0.91$. С ней можно связать также радиоисточник VLASS1QLCIR J182111.52+765816.6.

В оптическом спектре (рис. 5, табл. 6) видны узкая линия излучения $H\alpha$ и узкие запрещенные линии $[OIII]\lambda 4959$, $[OIII]\lambda 5007$, $[OI]\lambda 6300$, $[NII]\lambda 6548$, $[NII]\lambda 6583$, $[SII]\lambda 6716$, $[SII]\lambda 6730$. Также видны линии поглощения фраунгоферовской серии MgI и NaD, F.

Красное смещение измерено по линиями излучения $z = 0.0631 \pm 0.0004$. Отношения потоков в узких линиях $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha) = 0.14 \pm 0.04$, $\lg([OIII]\lambda 5007/H\beta) > 0.9$ (рис. 2) и отсутствие широких компонент $H\alpha$, $H\beta$ позволяют классифицировать объект как Sy2. Наблюдается существенное поглощение рентгеновского излучения ($N_H \approx 3 \times 10^{22} \text{ см}^{-2}$).

SRGA J193707.6+660816. Этот рентгеновский источник был открыт в обзоре RASS (2RXS J193708.1+660821). В области локализации ART-XC и ePOZITA находится оптический и радиоисточник 2MASS J19370820+6608213 = NVSS J193710+660830 (рис. 1), с характерным для АЯГ ИК-цветом $W1 - W2 = 0.64$.

В оптическом спектре (рис. 5, табл. 6) видны линии излучения серии Бальмера: широкая $H\delta$, широкая $H\gamma$, широкая и узкая $H\beta$, широкая и узкая $H\alpha$. Также наблюдаются узкие запрещенные линии

$[OIII]\lambda 4959$, $[OIII]\lambda 5007$, $[NII]\lambda 6548$, $[NII]\lambda 6583$, $[SII]\lambda 6716$, $[SII]\lambda 6730$.

Измеренное красное смещение составляет $z = 0.07136 \pm 0.00012$. Отношения потоков в узких линиях $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha) = -0.48 \pm 0.04$, $\lg([OIII]\lambda 5007/H\beta) = 1.01 \pm 0.09$ (рис. 2) и наличие широких компонент $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$ с характерной шириной линий $FWHM \approx 2000 \text{ км с}^{-1}$ позволяют классифицировать объект как сейфертовскую галактику 1-го типа с узкими линиями (Narrow-line Seyfert 1, NLSy1). В рентгеновском спектре, возможно, есть небольшое поглощение ($N_H \approx 3 \times 10^{20} \text{ см}^{-2}$).

SRGA J200331.2+701332. Этот рентгеновский источник был открыт в обзоре RASS: 2RXS J200332.1+701331. Известен также как жесткий рентгеновский источник — SWIFT J2003.4+7023 (Оу и др., 2018). В области локализации ART-XC и ePOZITA находится оптический объект 2MASS J20033397+7013369 (рис. 1) с характерным для АЯГ цветом $W1 - W2 = 0.89$.

В оптическом спектре (рис. 5, табл. 6) наблюдаются широкие линии излучения $H\beta$, $H\alpha$ и узкие запрещенные линии $[OIII]\lambda 4959$, $[OIII]\lambda 5007$, $[NII]\lambda 6548$, $[NII]\lambda 6583$. Измеренное красное смещение $z = 0.09759 \pm 0.00002$. Отношения потоков в узких линиях $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha) > 0.23$, $\lg([OIII]\lambda 5007/H\beta) > 0.8$ (рис. 2) и наличие широких компонент $H\alpha$, $H\beta$ позволяют классифицировать объект как Sy1. В рентгеновском спектре выявлено небольшое поглощение ($N_H \approx 2 \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$).

SRGA J211149.5+722815. Это новый рентгеновский источник, обнаруженный в обзоре неба СРГ/ART-XC. В области локализации ART-XC и ePOZITA находится оптический и радиоисточник WISEA J211151.78+722816.4 = NVSS J211152+722819 (рис. 1), с характерным для АЯГ ИК-цветом $W1 - W2 = 1.08$.

В оптическом спектре (рис. 5, табл. 6) наблюдаются узкая линия излучения $H\alpha$ и узкие запрещенные линии $[OIII]\lambda 4959$, $[OIII]\lambda 5007$, $[NII]\lambda 6548$, $[NII]\lambda 6583$. Измеренное красное смещение 0.10611 ± 0.00011 . Отношения потоков в узких линиях $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha) = 0.20 \pm 0.07$, $\lg([OIII]\lambda 5007/H\beta) > 0.9$ (рис. 2) и отсутствие широких компонент $H\alpha$, $H\beta$ позволяют классифицировать объект как Sy2. В рентгеновском спектре присутствует значительное поглощение ($N_H \sim 10^{22} \text{ см}^{-2}$).

СВОЙСТВА ВЫБОРКИ АЯГ

В табл. 4 представлены основные характеристики отождествленных АЯГ: оптический тип, красное смещение и рентгеновская светимость L_X . Последняя была рассчитана по однокомпонентной модели рентгеновского спектра из табл. 3 в диапазоне 2–10 кэВ⁵ (в наблюдаемой системе отсчета) и исправлена за галактическое и внутреннее поглощение.

Рентгеновские светимости объектов варьируются в диапазоне от $\sim 10^{42}$ до $\sim 10^{44}$ эрг/с, обычном для АЯГ в современную эпоху. По отношениям потоков в узких линиях $\lg([\text{NII}]\lambda 6584/\text{H}\alpha)$ и $\lg([\text{OIII}]\lambda 5007/\text{H}\beta)$ все источники попадают в область сейфертовских галактик на BPT-диаграмме (рис. 2), кроме SRGA J001439.6+183503, SRGA J002240.8+804348 и SRGA J010742.9+574419. Однако высокая рентгеновская светимость, наличие широких компонент линий водорода у SRGA J002240.8+804348 и SRGA J010742.9+574419 и отношение $\lg([\text{NII}]\lambda 6584/\text{H}\alpha) \approx 0.4$ у SRGA J001439.6+183503 указывают на присутствие активных ядер у этих галактик.

На рис. 3 показана зависимость наклона степенного континуума Γ от колонки внутреннего поглощения N_H для исследуемых объектов. Почти все значения наклона оказываются близки в пределах ошибок к каноническому для АЯГ наклону $\Gamma \approx 1.8$. При этом у единственной в выборке сейфертовской галактики 1-го типа с узкими линиями SRGA J193707.6+660816 наклон оказывается существенно больше: $\Gamma = 2.33 \pm 0.10$, что характерно для АЯГ такого типа (см., например, Брэндт и др., 1997; Лэйли, 1999). Значительное внутреннее поглощение выявлено только у сейфертовских галактик второго типа (Sy2 и Sy1.9).

Для четырех сейфертовских галактик 1-го типа, включая NLSy1 SRGA J193707.6+660816, мы можем оценить массы центральных черных дыр по светимости и ширине широкой эмиссионной линии $\text{H}\alpha$ на основе известной эмпирической зависимости (см. формулу (6) в Грин, Хо, 2005), используя значения потока и ширины этой линии из табл. 6⁶. Кроме того, можно оценить болометрические светимости этих объектов. Для этого мы взяли болометрическую поправку для диапазона 2–10 кэВ $L_{\text{bol}}/L_X = 11$ из работы Сазонова и др. (2012), которая была получена для представительной выборки сейфертовских галактик в близкой Вселенной. При этом надо иметь в виду, что эта

поправка характеризуется неопределенностью ~ 2 , которую мы не учитываем.

В табл. 5 приведены полученные значения масс черных дыр, болометрических светимостей и отношений болометрической светимости к эддингтоновской (λ_{Edd}). Последняя величина характеризует режим аккреции. Полученные значения λ_{Edd} варьируются от ~ 1 до $\sim 10\%$, что в целом характерно для сейфертовских галактик (см., например, Хорунжев и др., 2012).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью наблюдений, проведенных на телескопах АЗТ-33ИК, и архивных спектральных данных из обзора 6dF нам удалось отождествить 14 новых активных ядер галактик 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 интервале энергий 0.2–8.0 кэВ. Все объекты оказались близкими ($z = 0.015\text{--}0.238$) сейфертовскими галактиками (1 NLSy1, 3 Sy1, 4 Sy1.9, 6 Sy2).

Для всех объектов были построены широкополосные (0.2–12 кэВ) рентгеновские спектры по данным телескопов ART-XC и ePOZITA обсерватории СРГ. У четырех объектов внутреннее поглощение превышает $N_H > 10^{22} \text{ см}^{-2}$ на уровне достоверности 90%, а один из них (SRGA J001439.6+183503), вероятно, является сильно поглощенным ($N_H > 5 \times 10^{22} \text{ см}^{-2}$ с достоверностью 90%). Интересно, что в последнем случае поглощение может быть в основном связано не с газопылевым тором около центральной сверхмассивной черной дыры, а с большой толщей межзвездной среды галактики, наблюдаемой с ребра.

Эта статья продолжает серию публикаций об оптическом отождествлении рентгеновских источников, обнаруженных в ходе обзора всего неба СРГ/ART-XC. Полученные результаты помогут по завершении запланированных восьми обзоров неба получить большую (порядка двух тысяч объектов) статистически полную выборку АЯГ, отобранных по их излучению в жестком рентгеновском диапазоне 4–12 кэВ.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 19-12-00396. Измерения на телескопе АЗТ-33ИК выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России и получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования “Ангара”⁷. В этом исследовании использованы данные

⁵Принимая во внимание малые красные смещения объектов, мы не делаем k -поправку.

⁶Мы не делаем таких оценок для объектов типа Sy1.9, так как для них излучение в линии $\text{H}\alpha$ может быть подвержено значительному внутреннему поглощению.

⁷<http://ckp-ri.ru/ckp/3056/>

наблюдений телескопов ART-XC и ePOZITA на борту обсерватории СРГ. Обсерватория СРГ изготовлена Роскосмосом в интересах Российской академии наук в лице Института космических исследований в рамках Российской федеральной научной программы с участием Германского центра авиации и космонавтики (*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. Рентгеновский телескоп ePOZITA изготовлен консорциумом германских институтов во главе с Институтом внеземной физики Общества им. Макса Планка при поддержке *DLR*. Используемые 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арнауд (K.A. Arnaud), in G.H. Jacoby and J. Barnes (eds.), *Astronomical Data Analysis Software and Systems V*, Vol. 101, *Astron. Soc. Pacific Conf. Ser.*, p. 17 (1996).
2. Афанасьев и др. (V.L. Afanasiev, S.N. Dodonov, V.R. Amirkhanyan, and A.V. Moiseev), *Astrophys. Bull.* **71**, 479 (2016).
3. Балдвин и др. (J.A. Baldwin, M.M. Phillips, and R. Terlevich), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **93**, 5 (1981).
4. Бехти и др. (N. Ben Bekhti, L. Flöer, R. Keller, J. Kerp, D. Lenz, B. Winkel, J. Bailin, et al.), *Astron. Astrophys.* **594**, A116 (2016).
5. Боллер и др. (T. Boller, M.J. Freyberg, J. Trümper, F. Haberl, W. Voges, and K. Nandra), *Astron. Astrophys.* **588**, A103 (2016).
6. Брэндт и др. (W.N. Brandt, S. Mathur, and M. Elvis), *MNRAS* **285**, L25 (1997).
7. Буренин Р.А., Амвросов А.Л., Еселевич М.В., Григорьев В.М., Арефьев В.А., Воробьев В.С. и др., *Письма в Астрон. журн.* **42**, 333 (2016) [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)].
8. Верон-Сетти и др. (M.-P. Véron-Cetty, P. Véron, and A.C. Gonçalves), *Astron. Astrophys.* **372**, 730 (2001).
9. Грин, Хо (J.E. Greene and L.C. Ho), *Astrophys. J.* **630**, 122 (2005).
10. Гуаинацци и др. (M. Guainazzi, G. Matt, and G.C. Perola), *Astron. Astrophys.* **444**, 119 (2005).
11. Гуаинацци и др. (M. Guainazzi and S. Bianchi), *MNRAS* **374**, 1290 (2007).
12. Джонс и др. (D.H. Jones, W. Saunders, M. Colless, M.A. Read, Q.A. Parker, F.G. Watson, et al.), *MNRAS* **355**, 747 (2004).
13. Джонс и др. (D.H. Jones, M.A. Read, W. Saunders, M. Colless, T. Jarrett, Q.A. Parker, et al.), *MNRAS* **399**, 683 (2009).
14. Жавински и др. (K. Schawinski, D. Thomas, M. Sarzi, C. Maraston, S. Kaviraj, S.-J. Joo, et al.), *MNRAS* **382**, 1415 (2007).
15. Зазнобин И.А., Усков Г.С., Сазонов С.Ю., Буренин Р.А., Медведев П.С., Хорунжев Г.А. и др., *Письма в Астрон. журн.* **47**, 89 (2021) [I.A. Zaznobin, G.S. Uskov, S.Y. Sazonov, R.A. Burenin, P.S. Medvedev, G.A. Khorunzhev, et al.), *Astron. Lett.* **47**, 71 (2021)].
16. Зазнобин и др. (I. Zaznobin, S. Sazonov, R. Burenin, G. Uskov, A. Semena, M. Gilfanov, et al.), *Astron. Astrophys.* **661**, A39 (2022).
17. Исследовательский научный центр XMM-Newton (XMM-SSC), *VizieR Online Data Catalog*, p. IX/53 (2018).
18. Карделли и др. (J.A. Cardelli, G.C. Clayton, and J.S. Mathis), *Astrophys. J.* **345**, 245 (1989).
19. Кауффманн и др. (G. Kauffmann, T.M. Heckman, C. Tremonti, J. Brinchmann, S. Charlot, S.D.M. White, et al.), *MNRAS* **346**, 1055 (2003).
20. Кеули и др. (L.J. Kewley, M.A. Dopita, R.S. Sutherland, C.A. Heisler, and J. Trevena), *Astrophys. J.* **556**, 121 (2001).
21. Коллаборация Gaia (Gaia Collaboration, A. Vallenari, A.G.A. Brown, T. Prusti, J.H.J. de Bruijne, F. Arenou, et al.), *arXiv e-prints*, p. arXiv:2208.00211 (2022).
22. Лутовинов и др. (A.A. Lutovinov, S.S. Tsygankov, I.A. Mereminskiy, S.V. Molkov, A.N. Semena, V.A. Aref'ev, et al.), *Astron. Astrophys.* **661**, A28 (2022).
23. Лэйли (K.M. Leighly), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **125**, 317 (1999).
24. Мереминский и др. (I.A. Mereminskiy, A.V. Dodin, A.A. Lutovinov, A.N. Semena, V.A. Aref'ev, K.E. Atapin, et al.), *Astron. Astrophys.* **661**, A32 (2022).
25. Остерброк (D.E. Osterbrock), *Astrophys. J.* **249**, 462 (1981).
26. Оу и др. (K. Oh, M. Koss, C.B. Markwardt, K. Schawinski, W.H. Baumgartner, S.D. Barthelmy, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **235**, 4 (2018).
27. Павлинский и др. (M. Pavlinsky, A. Tkachenko, V. Levin, N. Alexandrovich, V. Aref'ev, V. Babyshkin, et al.), *Astron. Astrophys.* **650**, A42 (2021).
28. Павлинский и др. (M. Pavlinsky, S. Sazonov, R. Burenin, E. Filippova, R. Krivonos, V. Aref'ev, et al.), *Astron. Astrophys.* **661**, A38 (2022).
29. Предель и др. (P. Predehl, R. Andritschke, V. Aref'ev, V. Babyshkin, O. Batanov, W. Becker, et al.), *Astron. Astrophys.* **647**, A1 (2021).
30. 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).

31. Смит и др. (R.K. Smith, N.S. Brickhouse, D.A. Liedahl, and J.C. Raymond), *Astrophys. J. (Lett.)* **556**, L91 (2001).
32. 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).
33. Сюняев и др. (R. Sunyaev, V. Arefiev, V. Babyshkin, A. Bogomolov, K. Borisov, M. Buntov, et al.), *Astron. Astrophys.* **656**, A132 (2021).
34. Усков Г.С., Зазнобин И.А., Сазонов С.Ю., Семена А.Н., Гильфанов М.Р., Буренин Р.А. и др., *Письма в Астрон. журн.* **48**, 95 (2022) [G.S. Uskov, I.A. Zaznabin, S.Y. Sazonov, A.N. Semena, M.R. Gilfanov, R.A. Burenin, et al., *Astron. Lett.* **48**, 87 (2022)].
35. Хорунжев Г.А., Сазонов С.Ю., Буренин Р.А., Ткаченко А.Ю., *Письма в Астрон. журн.* **38**, 539 (2012) [G.A. Khorunzhev, S.Y. Sazonov, R.A. Burenin, and A.Y. Tkachenko, *Astron. Lett.* **38**, 475 (2012)].
36. 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).
37. Шлафлай, Финкбейнер (E.F. Schlafly and D.P. Finkbeiner), *Astrophys. J.* **737**, 103 (2011).
38. Шлегель и др. (D.J. Schlegel, D.P. Finkbeiner, and M. Davis), *Astrophys. J.* **500**, 525 (1998).
39. Эванс и др. (P.A. Evans, K.L. Page, J.P. Osborne, A.P. Beardmore, R. Willingale, D.N. Burrows, et al.), *VizieR Online Data Catalog*, p. IX/58 (2019).