

ОПТИЧЕСКОЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ КАНДИДАТОВ В АКТИВНЫЕ ЯДРА ГАЛАКТИК, ОБНАРУЖЕННЫХ ТЕЛЕСКОПОМ ART-XC ИМ. М.Н. ПАВЛИНСКОГО ОБСЕРВАТОРИИ СРГ В ХОДЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ОБЗОРА ВСЕГО НЕБА

© 2021 г. И. А. Зазнобин^{1*}, Г. С. Усков¹, С. Ю. Сазонов¹,
Р. А. Буренин¹, П. С. Медведев¹, Г. А. Хорунжев¹, А. Р. Ляпин¹,
Р. А. Кривонос¹, Е. В. Филиппова¹, М. Р. Гильфанов^{1,2}, Р. А. Сюняев^{1,2},
М. В. Еселевич³, И. Ф. Бикмаев^{4,5}, Э. Н. Иртуганов⁴, Е. А. Николаева⁴

¹Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

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

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

⁴Казанский федеральный университет, Казань, Россия

⁵Академия наук Татарстана, Казань, Россия

Поступила в редакцию 26.11.2020 г.

После доработки 26.11.2020 г.; принята к публикации 26.11.2020 г.

Представлены результаты отождествления восьми объектов из предварительного каталога рентгеновских источников, зарегистрированных в диапазоне энергий 4–12 кэВ телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории СРГ в ходе первого обзора всего неба. Из них три (SRGA J005751.0+210846, SRGA J014157.0–032915, SRGA J232446.8+440756) открыты телескопом ART-XC, а пять уже были известны ранее как рентгеновские источники, но их природа оставалась не установленной. Последние пять источников были зарегистрированы также в мягких рентгеновских лучах телескопом eROSITA обсерватории СРГ. Оптические наблюдения проводились на 1.6-м телескопе АЗТ-ЗЗИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН и 1.5-м российско-турецком телескопе (РТТ-150). Все исследованные объекты оказались активными ядрами галактик (АЯГ) на красных смещениях от 0.019 до 0.283. Из них шесть — сейфертовские галактики второго типа (включая один объект типа 1.9), один (SRGA J005751.0+21084) — “скрытое” АЯГ (в галактике, наблюдаемой с ребра) и один (SRGA J224125.9+760343) — сейфертовская галактика первого типа с узкими линиями. Последний объект характеризуется высокой рентгеновской светимостью ($\sim(2 - 13) \times 10^{44}$ эрг/с в диапазоне 4–12 кэВ) и, согласно полученной оценке массы черной дыры ($\sim 2 \times 10^7 M_\odot$), близким к эддингтоновскому пределу темпом аккреции. Все три АЯГ, открытые телескопом ART-XC (которые не регистрируются телескопом eROSITA), характеризуются большим поглощением на луче зрения ($N_H \gtrsim 3 \times 10^{23}$ см⁻²). Полученные результаты подтверждают ожидания, что телескоп ART-XC является эффективным инструментом для поиска сильно поглощенных и других интересных АЯГ в близкой ($z \lesssim 0.3$) Вселенной. Обзор неба обсерватории СРГ продлится еще больше 3 лет, что должно позволить открыть еще много таких объектов.

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

DOI: 10.31857/S0320010821020078

ВВЕДЕНИЕ

Российский телескоп ART-XC им. М.Н. Павлинского (Павлинский и др., 2021) в составе российской орбитальной обсерватории СРГ (Сюняев

и др., 2021) начиная с декабря 2019 г. проводит рентгеновский обзор всего неба на энергиях от 4 до 30 кэВ. В телескопе используются зеркала, работающие по принципу косого падения рентгеновских лучей, и полупроводниковые детекторы на основе кристаллов теллурида кадмия, что обеспечивает

*Электронный адрес: zaznobin@iki.rssi.ru

уникальные характеристики для указанного диапазона энергий: большое поле зрения (36 угл. мин) и хорошее угловое разрешение (лучше 1 угл. мин в режиме сканирования неба). Благодаря этому в ходе четырехлетнего обзора ожидается получить уникальную по глубине и четкости карту всего неба на энергиях 4–12 кэВ и, в частности, обнаружить не менее 5000 активных ядер галактик (АЯГ), что в несколько раз больше, чем удалось найти на таких энергиях в предыдущих обзорах всего неба.

В июне 2020 г. обсерватория СРГ завершила первое (из запланированных восьми) сканирование неба, и по полученным данным телескопа ART-XC был составлен предварительный каталог зарегистрированных источников (всего более 600 объектов). Этот каталог был скоррелирован с: 1) каталогами источников, обнаруженных в предыдущих рентгеновских обзорах неба; 2) предварительным каталогом источников, обнаруженных на половине небесной сферы $0 < |l| < 180^\circ$ ¹ в мягком рентгеновском диапазоне энергий в ходе первого обзора телескопа eROSITA обсерватории СРГ; 3) каталогами астрофизических объектов в других диапазонах длин волн (от радио до ультрафиолета). В результате был составлен список объектов, состоящий из источников, открытых телескопом ART-XC, и ранее известных рентгеновских источников не установленной природы. Часть этих объектов зарегистрирована также телескопом eROSITA (Предель и др., 2020) обсерватории СРГ.

Для отождествления этих потенциально интересных источников ART-XC проводятся спектроскопические наблюдения на российских оптических телескопах. Первые результаты этой наблюдательной кампании представлены в данной статье. Восемь источников ART-XC, о которых идет речь ниже, оказались АЯГ 1-го или 2-го типа, включая объекты с сильным внутренним поглощением. Последнее было выявлено в результате анализа рентгеновских спектров, построенных по данным телескопов ART-XC и eROSITA.

Представленные оценки светимостей основаны на модели плоской Вселенной с параметрами $H_0 = 70$, $\Omega_m = 0.3$.

ВЫБОРКА ОБЪЕКТОВ

Исследуемые объекты (см. табл. 1) были отобраны среди точечных рентгеновских источников, обнаруженных телескопом ART-XC в ходе первого обзора неба (12 декабря 2019 г.–10 июня 2020 г.), с отношением сигнала к шуму не менее 4.5 в диапазоне энергий 4–12 кэВ. По данным ART-XC

были измерены положения источников на небе и их потоки в указанном диапазоне энергий. Типичная ошибка локализации (на уровне достоверности 95%) составляет 30 угл. сек.

Для этих объектов по данным телескопа eROSITA были получены потоки либо верхние пределы на поток в трех диапазонах энергий: 0.3–2, 2–6 и 4–9 кэВ. Из восьми источников, зарегистрированных телескопом ART-XC, 5 были зарегистрированы также телескопом eROSITA либо во всех трех, либо в первых двух из указанных диапазонов. Для них по данным eROSITA удалось уточнить положение источника на небе. Остальные три объекта не детектируются телескопом eROSITA.

В табл. 1 для всех объектов приведены: координаты источника ART-XC, координаты предполагаемого оптического партнера, расстояния между положением оптического партнера и положениями рентгеновского источника по данным ART-XC и eROSITA (если имеется), рентгеновская обсерватория, которая впервые обнаружила рентгеновский источник.

РЕНТГЕНОВСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Рентгеновское излучение АЯГ может испытывать фотопоглощение в газопылевом торе вокруг сверхмассивной черной дыры (СМЧД) и в межзвездной среде родительской галактики. Одной из целей этого исследования было оценить для обсуждаемых объектов колонку нейтрального (или слабоионизованного) вещества вдоль луча зрения N_H . Хотя количества рентгеновских фотонов, зарегистрированных телескопами ART-XC и eROSITA (за короткое время сканирования источника во время обзора неба обсерватории СРГ), оказывается недостаточно для проведения детального спектрального анализа, эти данные все же позволяют, в большинстве случаев, получить достаточно надежные ограничения на величину N_H .

Аппроксимация рентгеновских спектров проводилась в диапазоне 0.3–12 кэВ с помощью программы XSPEC v12.9.0п² совместно по данным телескопов ART-XC и eROSITA. Спектры телескопа eROSITA были предварительно разбиты на спектральные бины 0.3–0.5, 0.5–0.7, 0.7–1, 1–1.5, 1.5–2, 2–4, 4–6, 6–9 кэВ.

Мы предполагали, что рентгеновский спектр АЯГ описывается степенным законом с фиксированным наклоном $\Gamma = 1.8$ (типичное значение для сейфертовских галактик) и завалом на низких энергиях в результате фотопоглощения в Галактике

¹ За обработку данных телескопа eROSITA (Германия) на этой части неба отвечают российские ученые.

² <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/xanadu/xspec/>

Таблица 1. Список объектов спектроскопических наблюдений

Источник ART-XC	Оптические координаты		r (ART-XC)	r (eROSITA)	Открыт
	α	δ			
SRGA J005751.0+210846	00 57 52.1	+21 08 46	15.4''	—	СРГ
SRGA J014157.0–032915	01 41 59.4	–03 29 34	40.6''	—	СРГ
SRGA J043209.6+354917	04 32 08.0	+35 49 29	22.9''	2.3''	ROSAT
SRGA J045049.8+301449	04 50 48.0	+30 15 03	27.2''	3.2''	Swift
SRGA J152102.3+320418	15 21 01.8	+32 04 14	7.5''	2.9''	Swift
SRGA J200431.6+610211	20 04 32.4	+61 02 31	20.8''	5.3''	ROSAT
SRGA J224125.9+760343	22 41 25.8	+76 03 53	10.0''	4.6''	ROSAT
SRGA J232446.8+440756	23 24 48.4	+44 07 57	17.3''	—	СРГ

Примечание. Столбец 1: название источника в предварительном каталоге ART-XC (используемые в названиях координаты рентгеновских источников даны для эпохи J2000.0). Столбцы 2 и 3: координаты предполагаемого оптического партнера. Столбец 4: расстояние между координатами источника ART-XC и координатами оптического объекта. Столбец 5: расстояние между координатами источника eROSITA и координатами оптического объекта (прочерк означает, что данный источник не детектируется телескопом eROSITA). Столбец 6: рентгеновская обсерватория, открывшая источник.

и в самом объекте. Таким образом, использовалась следующая модель в XSPEC:

$$phabs(zphabs(powerlaw)),$$

где $phabs$ — поглощение в Галактике по данным обзора HI4PI (Бехти и др., 2016), $zphabs$ — поглощение на красном смещении z данного АЯГ (измеренном по оптическому спектру объекта). Для всех источников достигнуто удовлетворительное качество аппроксимации.

Полученные рентгеновские спектры представлены на графиках ниже в единицах $F_E(E)$. При этом для пересчета отсчетов на детекторе в фотоны использовалась степенная модель с наклоном $\Gamma = 1.8$. Следует иметь в виду, что такие рисунки не должны использоваться для получения точных значений потоков.

ОПТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Спектроскопия объектов проводилась на 1.6-м телескопе АЗТ-3ЗИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН с использованием спектрографа низкого и среднего разрешения АДАМ (Афанасьев и др., 2016; Буренин и др., 2016) и на 1.5-м российско-турецком телескопе (РТТ-150) с использованием спектрографа TFOSC³. На обоих спектрографах для получения спектров используется набор длинных щелей.

³ <http://hea.iki.rssi.ru/rtt150/en/index.php?page=tfosc>

На спектрографе АДАМ для получения спектров нами использовались объемные фазовые голографические решетки (VPHG), 600 штрихов на миллиметр. В качестве диспергирующего элемента мы использовали решетки VPHG600G спектрального диапазона 3650–7250 Å с разрешающей способностью 4.3 Å и решетку VPHG600R спектрального диапазона 6460–10 050 Å с разрешающей способностью 6.1 Å. 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 1 мкм без интерференции на тонкой подложке матрицы. На спектрографе доступен набор щелей, для получения спектроскопических изображений мы использовали щель шириной 2''. 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 линейчатого спектра He-Ne-Ag лампы.

На спектрографе TFOSC в качестве диспергирующего элемента использовалась дифракционная пропускающая решетка № 15 со спектральным диапазоном 3700–8700 Å, обеспечивающая спектральное разрешение 12 Å. Эта решетка позволяет

Таблица 2. Спектральные особенности SRGA J005751.0+210846 = LEDA 1643776

Линия	Длина волны, Å	Поток, 10^{-16} эрг с^{-1} см^{-2}	Экв. ширина ¹ , Å	<i>FWHM</i> , км/с
H α	6880	9.9 ± 6.0	-5.0 ± 3.0	$(3.6 \pm 0.3) \times 10^2$
III λ 6584	6901	8.8 ± 5.0	-4.4 ± 2.5	$(3.8 \pm 0.2) \times 10^2$

¹ Отрицательные значения соответствуют эмиссионным линиям.

получать на спектральных изображениях яркие линии бальмеровской серии для галактик вплоть до красного смещения $z = 0.32$. Для получения спектроскопических изображений использовалась щель шириной $2''$. Позиционный угол щели спектрографа равен 90 градусов. До и после получения серии спектроскопических изображений для каждого объекта мы получали изображения лампы с непрерывным спектром и линейчатого спектра Fe-Ag лампы.

Все наблюдения проводились в темное безлунное время. Перед получением спектроскопических изображений мы старались как можно точнее расположить ядро галактики по центру щели спектрографа. После каждой экспозиции мы изменяли положение объекта вдоль щели на 10 – $15''$ в случайном направлении вверх или вниз при помощи фотогида. Каждую ночь на обоих телескопах мы получали спектр спектрофотометрических стандартов из списка ESO⁴ для всех используемых наборов дифракционных решеток и щелей. Обработка производилась при помощи пакета программ IRAF⁵ и собственного программного обеспечения.

Для того чтобы оценить уширение линий излучения, их профили аппроксимировались нормальным распределением, при этом фон аппроксимировался полиномом. Ширина линии определялась как $FWHM = \sqrt{FWHM_{mes}^2 - FWHM_{res}^2}$, где $FWHM_{mes}$ — измеренная ширина линии, а $FWHM_{res}$ — спектральное уширение прибора, значения которого были приведены выше для каждого используемого диспергирующего элемента.

Классификация сейфертовских галактик по оптическим спектрам проводилась стандартным образом (Остерброк, 1981; Верон-Сетти и др., 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Ниже приводятся подробности оптических и рентгеновских наблюдений, а также полученные результаты для каждого объекта выборки.

⁴ <https://www.eso.org/sci/observing/tools/standards/spec-tra/stanlis.html>

⁵ <http://iraf.noao.edu/>

SRGA J005751.0+210846. Этот рентгеновский источник был открыт в диапазоне 4 – 12 кэВ телескопом ART-XC обсерватории СРГ и при этом не был зарегистрирован в более мягком рентгеновском диапазоне телескопом eROSITA той же обсерватории.

Вероятным оптическим партнером рентгеновского источника является галактика LEDA 1643776, которая попадает в область локализации ART-XC (рис. 1). Галактика ориентирована ребром к наблюдателю. Ранее для нее уже был получен спектр в ходе Слоановского обзора неба (выпуск 12, Сообщество СДСС 2015), по которому было измерено ее красное смещение ($z = 0.04798 \pm 0.00002$). Однако полученный спектр не позволяет надежно классифицировать объект как АЯГ.

Оптические наблюдения объекта проводились 22 октября 2020 г. на телескопе АЗТ-ЗЗИК с помощью решетки VPHG600G. Было получено шесть спектральных изображений с экспозицией по 300 с, общая экспозиция составила 30 мин.

Полученный спектр галактики показан на рис. 1. На нем видны узкие эмиссионные линии H α , [III] λ 6584 и дублета серы. Линии H β , [OIII] λ 4959, [OIII] λ 5007 отсутствуют. Верхняя граница максимума интенсивности на уровне 2σ в этих линиях составляет 5.5×10^{-17} эрг/с/см²/Å. В табл. 2 представлены характеристики двух наиболее ярких линий. По этим двум линиям было измерено красное смещение объекта: $z = 0.04795 \pm 0.00005$, что в пределах ошибки согласуется с красным смещением, измеренным в Слоановском обзоре.

Из-за отсутствия в спектре линии H β и дублета [OIII] невозможно установить положение галактики LEDA 1643776 на стандартной ВРТ-диаграмме (Балдвин и др. 1981, см. рис. 9), а следовательно, и ее оптический тип. Тем не менее большая рентгеновская светимость ($\sim 5 \times 10^{43}$ эрг/с в диапазоне 4 – 12 кэВ по данным ART-XC) объекта не оставляет сомнений, что это АЯГ. Вероятно, слабость наблюдаемых линий связана с тем, что мы наблюдаем галактику LEDA 1643776 с ребра, так что оптическое излучение из активного ядра (и, в частности, из области образования узких линий) практически полностью поглощено в толще межзвездного газа галактики.

SRGA J005751.0 + 210846

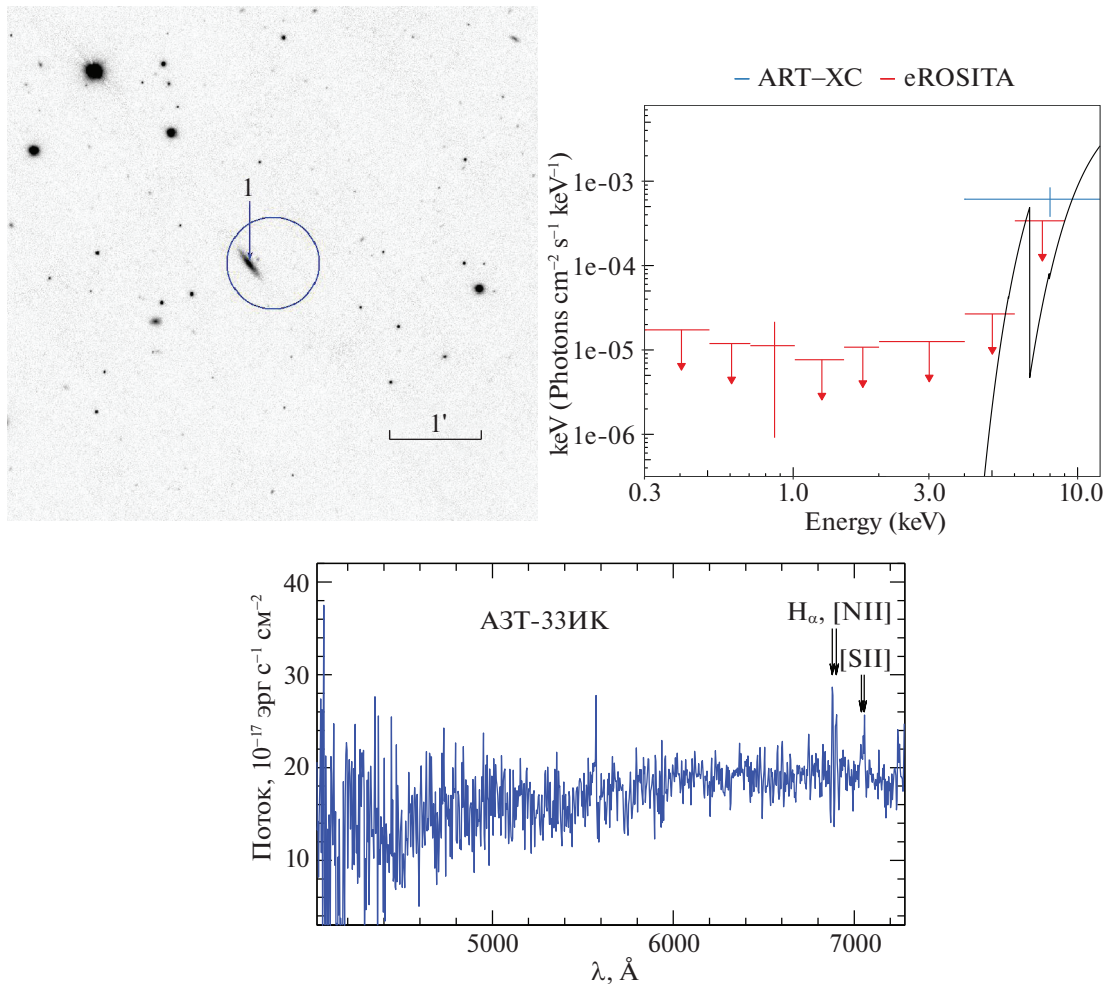


Рис. 1. Вверху слева: картинка наведения для источника SRGA J005751.0+210846, взятая из обзора Pan-STARRS1 (Чэмберс и др., 2016). Стрелкой показан объект, для которого был получен оптический спектр, синей окружностью обозначена область локализации источника телескопом ART-XC, радиусом $30''$. Вверху справа: рентгеновский спектр по данным телескопов ART-XC (красным) и eROSITA (синим), а также модель (степенной закон с поглощением) наилучшей аппроксимации (черная линия). Стрелками показаны верхние пределы. Внизу: оптический спектр с указанием некоторых линий излучения и поглощения.

Отсутствие детектирования телескопом eROSITA в сочетании с потоком в диапазоне 4–12 кэВ, измеренным телескопом ART-XC (рис. 1), позволяет поставить нижний предел (на уровне достоверности 90%) на колонку поглощения на луче зрения: $N_{\text{H}} > 10^{24} \text{ см}^{-2}$. Возможно, значительная часть этого поглощения возникает в толще межзвездного газа галактики, а не в газопылевом торе, окружающем СМЧД.

SRGA J014157.0–032915. Этот рентгеновский источник был открыт в диапазоне 4–12 кэВ телескопом ART-XC обсерватории СРГ и при этом не был зарегистрирован в более мягком рентгеновском диапазоне телескопом eROSITA.

Вероятным оптическим партнером является галактика LEDA 1070544 (рис. 2). Хотя ее центр

находится на расстоянии около $40''$ от координат рентгеновского источника (табл. 1), такие ошибки локализации могут происходить в случае источников на пороге детектирования телескопа ART-XC.

Оптические наблюдения проводились 13 октября 2020 г. на телескопе АЗТ-33ИК с использованием решетки VPHG600G. Было получено три спектральных изображения с экспозицией по 600 с, общее время экспозиции составило 30 мин.

В полученном спектре (рис. 2) видны эмиссионные линии $\text{H}\beta$, $[\text{OIII}]\lambda 4959$, $[\text{OIII}]\lambda 5007$, $\text{H}\alpha$, дублет серы $[\text{SII}]$. Линию азота $[\text{NII}]\lambda 6584$ сложно отделить от линии $\text{H}\alpha$. В табл. 3 приведены характеристики эмиссионных линий. Все они являются узкими. Красное смещение, определенное по четырем линиям, составляет $z = 0.01878 \pm 0.00003$.

SRGA J014457.0 – 032915

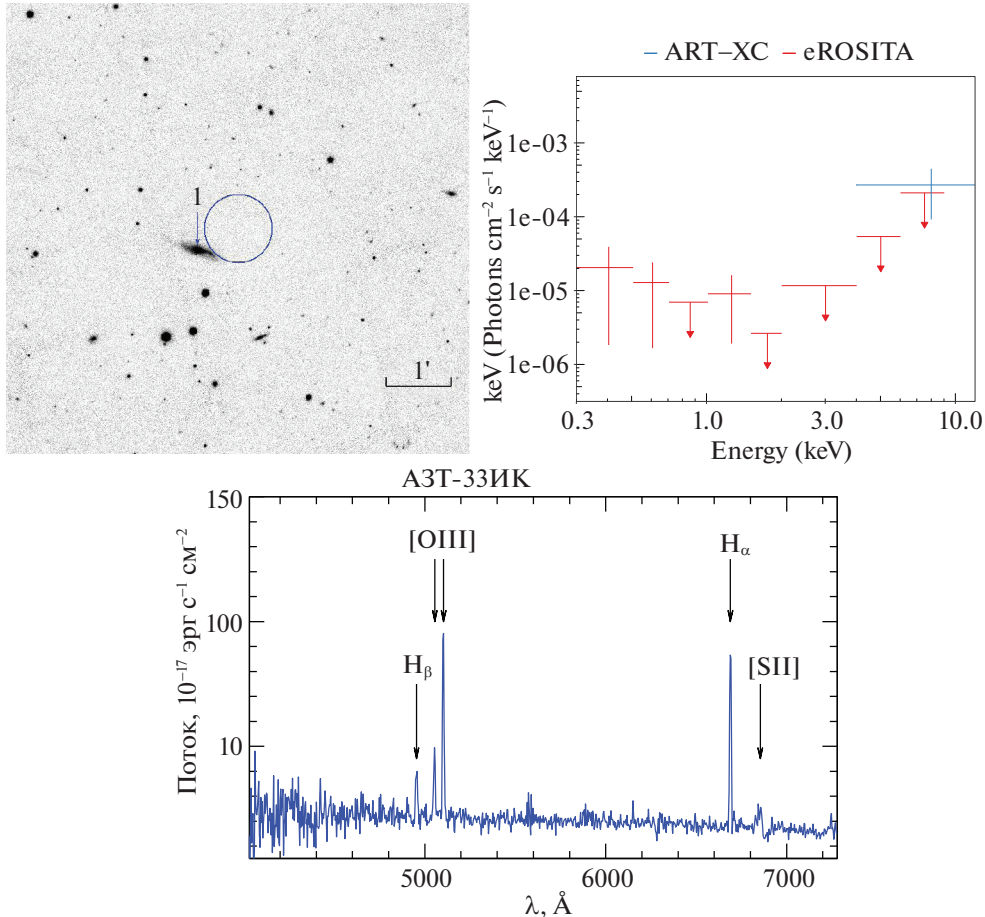


Рис. 2. То же, что на рис. 1, но для SRGA J014157.0–032915. На графике с рентгеновским спектром не показано никакой спектральной модели из-за большого разброса в параметрах модели.

Отсутствие широких линий в спектре и достаточно высокая рентгеновская светимость ($\sim 3 \times 10^{42}$ эрг/с в диапазоне 4–12 кэВ по данным ART-XC) указывают на то, что это сейфертовская галактика 2-го типа. Однако, согласно измеренным отношениям потоков в линиях $\lg([\text{OIII}]\lambda 5007/\text{H}\beta) = 0.49 \pm 0.09$, $\lg([\text{NII}]\lambda 6584/\text{H}\alpha) < -0.86$, объект оказывается в области звездообразующих галактик на BPT-диаграмме (рис. 9), хотя и рядом (в пределах трех стандартных отклонений) с областью сейфертовских галактик. По всей видимости, мы имеем дело с галактикой, в которой наряду с активностью СМЧД происходит активное звездообразование.

Отсутствие детектирования телескопом eROSITA в сочетании с потоком в диапазоне 4–12 кэВ, измеренным телескопом ART-XC (рис. 2), позволяет поставить нижний предел на колонку поглощения на луче зрения: $N_{\text{H}} > 3 \times 10^{23}$ см $^{-2}$. Однако этот предел пока нельзя считать надежным, так как он получен лишь на уровне значимости

68%. Чтобы удостовериться в наличии большого поглощения в этом объекте, необходимо получить рентгеновский спектр с существенно большим количеством фотонов.

SRGA J043209.6+354917. Этот рентгеновский источник впервые упоминается под названием 1WGA J0432.1+3549 в каталоге источников, открытых в мягком рентгеновском диапазоне энергий в ходе направленных наведений обсерватории ROSAT (Вайт и др., 2000). Он присутствует также в каталоге источников, обнаруженных при перенаведениях обсерватории XMM-Newton (Исследовательский научный центр XMM-Newton, 2018). Однако природа этого объекта до сих пор оставалась неизвестной. Источник надежно зарегистрирован как телескопом ART-XC, так и телескопом eROSITA обсерватории СРГ.

Рентгеновский источник надежно отождествляется с галактикой 2MASX J04320796+3549287 = WISEA J043207.95+354928.8 (рис. 3), цвета которой в близком ИК-диапазоне ($W1 - W2 =$

Таблица 3. Спектральные особенности SRGA J014157.0–032915 = LEDA 1070544

Линия	Длина волны, Å	Поток, 10^{-16} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$	Экв. ширина, Å	<i>FWHM</i> , км/с
H β	4954	27 ± 5	-17.8 ± 3.0	$(6.0 \pm 0.7) \times 10^2$
OIII λ 4960	5054	31 ± 3	-14.5 ± 1.5	$(5.0 \pm 0.7) \times 10^2$
OIII λ 5007	5102	84 ± 9	-38 ± 4	$(4.9 \pm 0.7) \times 10^2$
H α	6689	88 ± 8	-50 ± 5	$(3.9 \pm 0.5) \times 10^2$
NII λ 6584	6709	<12	>-7.3	–

Таблица 4. Спектральные особенности SRGA J043209.6+354917 = 2MASX J04320796+3549287

Линия	Длина волны, Å	Поток, 10^{-16} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$	Экв. ширина, Å	<i>FWHM</i> , км/с
H β , узкая	5112	<2	>-4.3	–
H β , широкая	5112	28 ± 7	-64 ± 16	$(5.8 \pm 0.6) \times 10^3$
OIII λ 4960	–	<3	>-6.5	–
OIII λ 5007	5260	12 ± 2	-27 ± 5	$(6.4 \pm 1.2) \times 10^2$
NII λ 6548	6854	2 ± 2	-2 ± 2	$(5.8 \pm 0.9) \times 10^2$
H α , узкая	6893	9 ± 2	-9 ± 2	$(5.8 \pm 0.9) \times 10^2$
H α , широкая	6893	282 ± 8	-278 ± 8	$(6.0 \pm 0.2) \times 10^3$
NII λ 6584	6919	14 ± 2	-14 ± 2	$(5.8 \pm 0.9) \times 10^2$

= 0.68) (Райт и др., 2010) указывают на присутствие активного ядра.

Оптические наблюдения проводились 15 сентября 2020 г. на телескопе РТТ-150. Было получено пять спектральных изображений с экспозицией по 900 с, общее время экспозиции составило 75 мин.

В спектре объекта (рис. 3) видны эмиссионные линии бальмеровской серии водорода, а также запрещенные линии излучения кислорода и азота. В табл. 4 приведены характеристики эмиссионных линий. Красное смещение определено по трем линиям H α , [OIII] λ 5007 и [NII] λ 6584 и равно $z = 0.0506 \pm 0.0010$. Линии H α и H β имеют широкую компоненту, на поток в узкой компоненте линии H β можно поставить только верхний предел. По соотношениям $\lg([OIII]\lambda 5007/H\beta) > 0.77$, $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha) = 0.19 \pm 0.11$ (рис. 9) и потокам в широких и узких компонентах линий H α и H β

объект классифицируется как сейфертовская галактика 1-го типа.

В рентгеновском спектре объекта (рис. 3) детектируется небольшое поглощение: $N_H \sim 3 \times 10^{21} \text{см}^{-2}$.

SRGA J045049.8+301449. Этот объект был открыт в жестком рентгеновском диапазоне (источник SWIFT J0450.6+3015) прибором BAT обсерватории Swift им. Нила Джерельса (О и др., 2018) и присутствует в каталоге точечных рентгеновских источников, обнаруженных телескопом XRT той же обсерватории (Эванс и др., 2020). Однако его природа до сих пор оставалась неизвестной. Источник надежно зарегистрирован как телескопом ART-XC, так и телескопом eROSITA обсерватории СРГ.

Рентгеновский источник надежно отождествляется (рис. 4) с галактикой LEDA 1896296 = WISEA J045048.00+301502.8 (цвет $W1 - W2 = 0.38$).

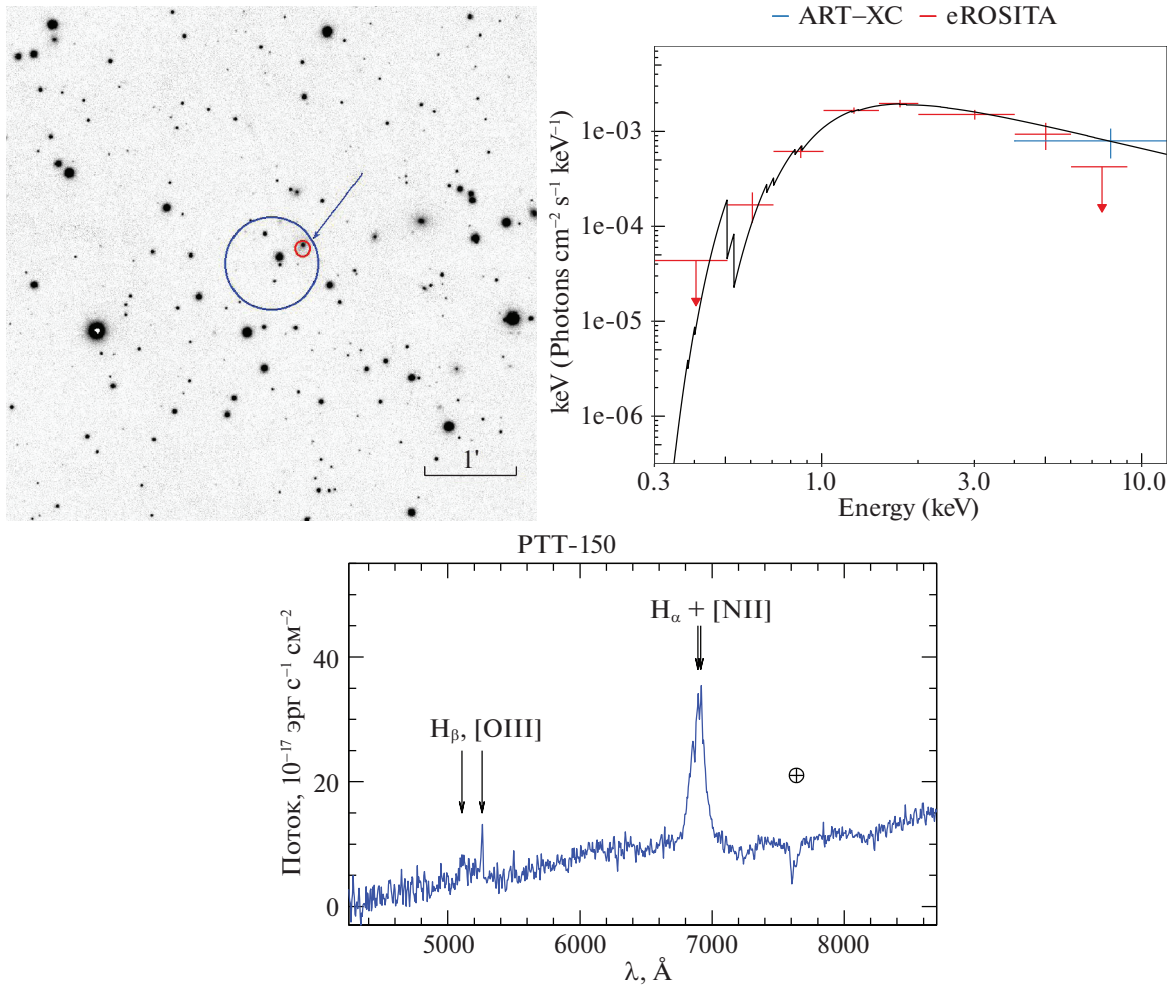


Рис. 3. То же, что на рис. 1, но для SRGA J043209.6+354917. На картинке наведения синей окружностью показана область локализации ART-XC, красной окружностью — область локализации eROSITA.

Оптические наблюдения проводились 22 октября 2020 г. на телескопе АЗТ-ЗЗИК с использованием решетки VPHG600G. Было получено четыре спектральных изображения с экспозицией по 600 с вблизи кульминации объекта, общее время экспозиции 40 мин.

В спектре объекта (рис. 4) видны эмиссионные линии [OIII] λ 4960, λ 5007, H α , [NII] λ 6584, дублет серы. Линия H β не видна. Верхний предел на соотношение $\lg([\text{OIII}]\lambda 5007/\text{H}\beta) > 0.92$. Отношение $\lg([\text{NII}]\lambda 6584/\text{H}\alpha) = -0.04 \pm 0.16$. Все линии узкие, кроме линии H α , в которой можно выделить широкую компоненту. Характеристики эмиссионных линий приведены в табл. 5. По шести эмиссионным линиям измерено красное смещение объекта: $z = 0.03308 \pm 0.00004$. По расположению на ВРТ-диаграмме (рис. 9) и наличию широкой компоненты только у линии H α балмеровской

серии, объект может быть классифицирован как сейфертовская галактика типа 1.9.

В рентгеновском спектре объекта (рис. 4) регистрируется заметное поглощение: $N_{\text{H}} \sim 4 \times 10^{22} \text{ см}^{-2}$.

SRGA J152101.9+320430. Этот рентгеновский источник присутствует в каталоге точечных рентгеновских источников, обнаруженных телескопом XRT обсерватории Swift им. Нила Джерельса (Эванс и др., 2020), однако его природа до сих пор оставалась неизвестной. Источник надежно зарегистрирован как телескопом ART-XC, так и телескопом eROSITA обсерватории СРГ.

Рентгеновский источник надежно отождествляется (рис. 5) с галактикой (по данным Слоановского обзора) WISEA J152101.83 + 320414.6, ИК-цвет которой ($W1 - W2 = 1.20$) указывает на возможное наличие активного ядра.

SRGA J045049.8 + 301449

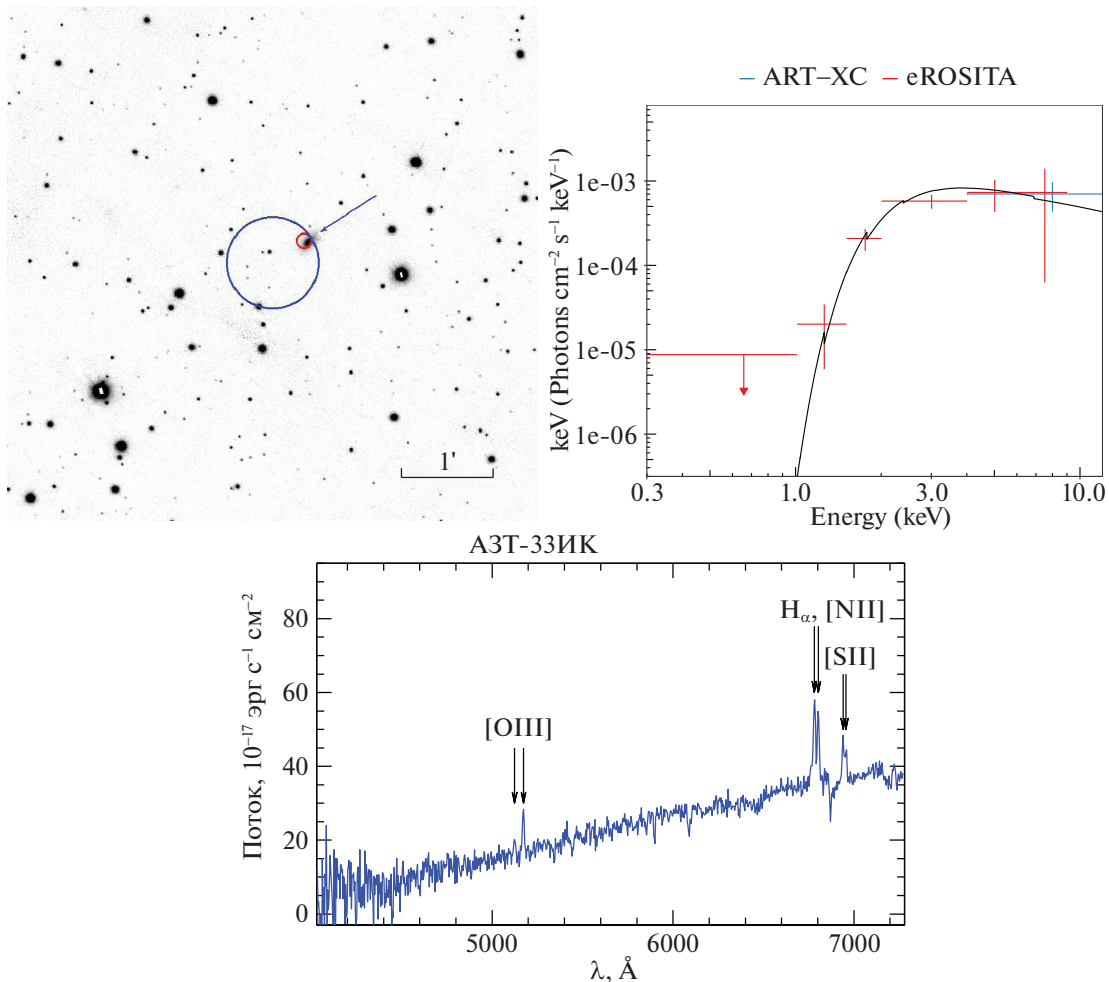


Рис. 4. То же, что на рис. 3, но для SRGA J045049.8+301449.

Оптические наблюдения проводились 27 февраля и 24 апреля 2020 г. на телескопе АЗТ-33ИК. 27 февраля 2020 г. было получено пять спектральных изображений с экспозицией по 600 с, общее время экспозиции составило 50 мин; 24 апреля 2020 г. было получено два спектральных изображения с экспозицией по 1200 с в решетке VPHG600G и три спектральных изображения с экспозицией по 1200 с в решетке VPHG600R, общее время экспозиции составило 100 мин.

В полученном спектре (рис. 5) видны 14 узких эмиссионных линий водорода, кислорода, азота, серы и гелия. Информация по этим линиям собрана в табл. 6. Красное смещение галактики, определенное по 14 линиям, равно $z = 0.11425 \pm 0.00031$. Отношения $\lg([\text{NII}]\lambda 6584/\text{H}\alpha) = -0.61 \pm 0.03$, $\lg([\text{OIII}]\lambda 5007/\text{H}\beta) = 0.88 \pm 0.05$. По положению на BPT-диаграмме (рис. 9) и отсутствию широких линий объект классифицируется как сейфертовская галактика 2-го типа.

В рентгеновском спектре объекта (рис. 5) регистрируется заметное поглощение: $N_{\text{H}} \sim 2.5 \times 10^{22} \text{ см}^{-2}$.

SRGA J200431.6+610211. Этот рентгеновский источник был открыт в ходе обзора всего неба обсерватории ROSAT: 2RXS J200433.8+610235 (Боллер и др., 2016). Однако его природа до сих пор оставалась неизвестной. Источник зарегистрирован как телескопом ART-XC, так и телескопом eROSITA обсерватории СРГ.

Рентгеновский источник надежно отождествляется (рис. 6) с галактикой 2MASX J20043237 + 6102311=WISEA J200432.40 + 610230.8, ИК-цвет которой ($W1 - W2 = 0.89$) указывает на возможное наличие активного ядра.

Оптические наблюдения проводились 22 октября 2020 г. на телескопе АЗТ-33ИК с использованием решетки VPHG600G. Было получено пять спектральных изображений по 300 с, общее время экспозиции составило 25 мин.

Таблица 5. Спектральные особенности SRGA J045049.8+301449 = LEDA 1896296

Линия	Длина волны, Å	Поток, 10^{-16} эрг с^{-1} см^{-2}	Экв. ширина, Å	<i>FWHM</i> , км/с
H β	5037	<2	>-1.3	—
OIII λ 4960	5124	5.9 ± 0.8	-3.7 ± 0.5	$(6.5 \pm 0.6) \times 10^2$
OIII λ 5007	5173	17 ± 2	-10.3 ± 1.2	$(6.8 \pm 0.6) \times 10^2$
H α , узкая	6781	24 ± 8	-7 ± 2	$(4.7 \pm 0.5) \times 10^2$
H α , широкая	6781	25 ± 4	-7.1 ± 1.2	$(2.8 \pm 0.4) \times 10^3$
NIIL λ 6584	6803	22 ± 3	-6.7 ± 0.9	$(4.8 \pm 0.5) \times 10^2$
SII λ 6718	6940	15 ± 2	-4.2 ± 0.6	$(5.2 \pm 0.8) \times 10^2$
SII λ 6732	6956	10 ± 2	-2.7 ± 0.6	$(4.8 \pm 0.8) \times 10^2$

Таблица 6. Спектральные особенности SRGA J152101.9+320430 = WISEA J152101.83+320414.6

Линия	Длина волны, Å	Поток, 10^{-16} эрг с^{-1} см^{-2}	Экв. ширина, Å	<i>FWHM</i> , км/с
OIII λ 3729	4155	112 ± 7	$(-1.8^{+1.7}_{-0.8}) \times 10^2$	$(6.8 \pm 0.8) \times 10^2$
HeI λ 3889	4312	33 ± 7	-9^{+9}_{-4}	$(6.2 \pm 0.8) \times 10^2$
H δ	4573	<11	>-27	—
H γ	4837	14 ± 2	-31^{+12}_{-6}	$(6.7 \pm 0.7) \times 10^2$
OIII λ 4364	4863	7.1 ± 1.5	$-15.4^{+1.2}_{-2.7}$	$(6.3 \pm 0.7) \times 10^2$
H β	5418	30 ± 3	-67^{+24}_{-13}	$(5.7 \pm 0.6) \times 10^2$
OIII λ 4960	5527	75 ± 3	$(-1.23^{+0.45}_{-0.11}) \times 10^2$	$(6.1 \pm 0.6) \times 10^2$
OIII λ 5007	5580	$(2.3 \pm 0.1) \times 10^2$	$(-3.6 \pm 0.4) \times 10^2$	$(6.3 \pm 0.6) \times 10^2$
OII λ 6302	7022	14.9 ± 0.7	-41^{+8}_{-7}	$(6.1 \pm 0.5) \times 10^2$
OII λ 6365	7086	<7	>-7.6	—
NIIL λ 6548	7298	<20	>-22	—
H α	7316	$(3.0 \pm 0.1) \times 10^2$	$(-2.4^{+0.8}_{-0.7}) \times 10^2$	$(5.6 \pm 0.4) \times 10^2$
NIIL λ 6584	7339	73 ± 4	-56^{+29}_{-28}	$(7.2 \pm 0.8) \times 10^2$
SII λ 6718	7487	62 ± 7	-58 ± 8	$(5.9 \pm 0.4) \times 10^2$
SII λ 6732	7504	53 ± 7	-50 ± 8	$(5.8 \pm 0.4) \times 10^2$

SRGA J152101.9 + 320430

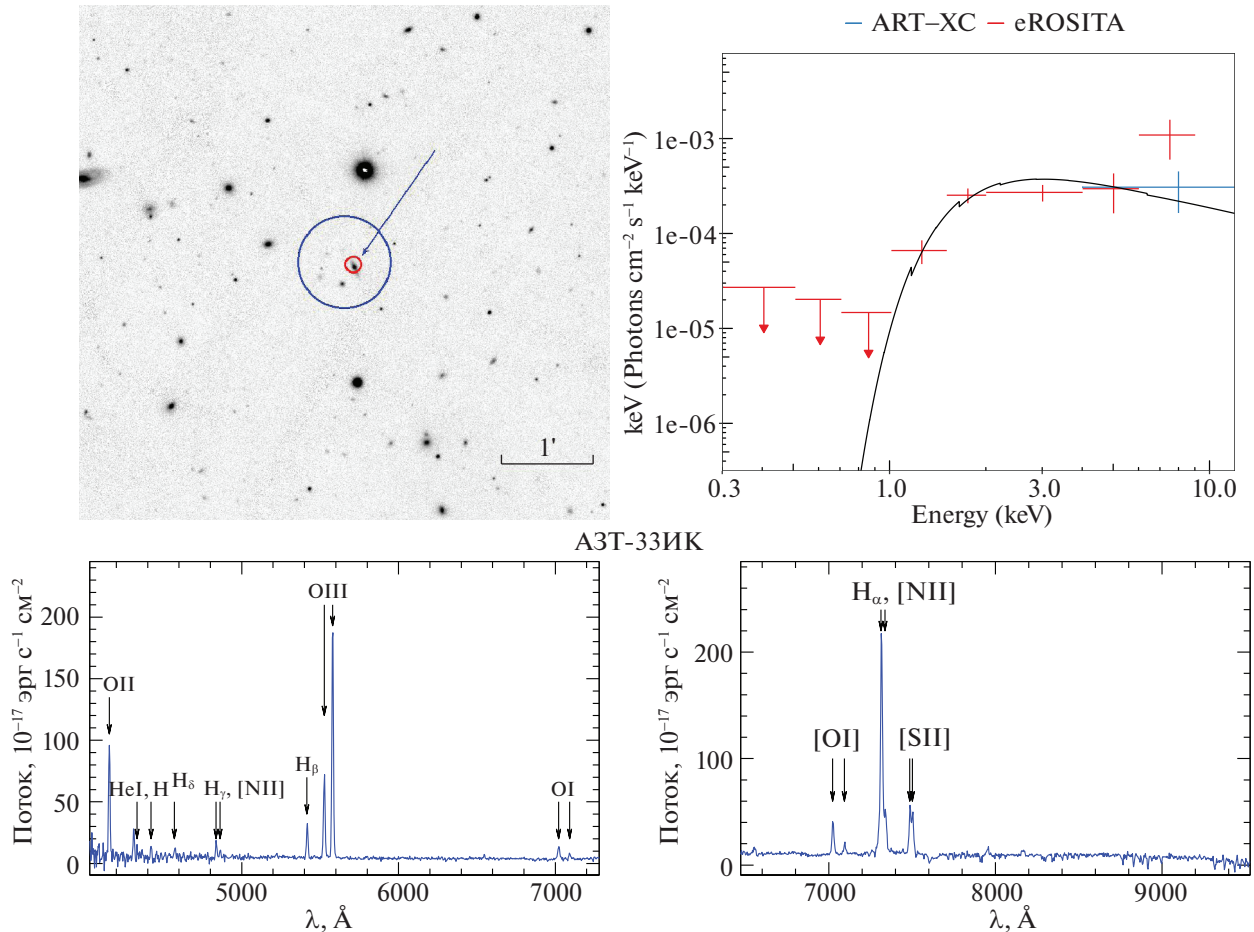


Рис. 5. То же, что на рис. 3, но для SRGA J152101.9+320430. Оптический спектр показан на двух нижних рисунках: слева — спектр, полученный в решетке VPGH600G, справа — спектр, полученный в решетке VPHG600R.

На полученном спектре (рис. 6) видны узкие эмиссионные линии $H\beta$, $[OIII]\lambda 4959$, $[OIII]\lambda 5007$, $H\alpha$, $NI\lambda 6584$, дублет серы. Характеристики линий приведены в табл. 7. По семи линиям было определено красное смещение: $z = 0.05866 \pm 0.00013$. Соотношения $\lg([OIII]\lambda 5007/H\beta) = 1.04 \pm 0.03$ и $\lg([NII]\lambda 6584/H\alpha) = 0.00 \pm 0.06$. По положению на BPT-диаграмме (рис. 9) и отсутствию широких линий объект можно отнести к сейфертовским галактикам 2-го типа.

В рентгеновском спектре объекта (рис. 6) регистрируется небольшое поглощение: $N_H \sim 5 \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$.

SRGA J224125.9+760343. Этот рентгеновский источник был открыт в ходе обзора всего неба обсерватории ROSAT: 2RXS J224124.5+760346 (Боллер и др., 2016), однако его природа до сих пор оставалась неизвестной. Источник зарегистрирован как телескопом ART-XC, так и телескопом eROSITA обсерватории СРГ.

Рентгеновский источник надежно отождествляется (рис. 7) с инфракрасным источником WISEA J224125.79 + 760353.8, ИК-цвет которого ($W1 - W2 = 0.97$) указывает на возможное наличие активного ядра.

Оптические наблюдения проводились 21 июня 2020 г. на телескопе РТТ-150. Было получено три спектральных изображения по 1800 с, общее время экспозиции составило 90 мин.

На полученном спектре (рис. 7) видны эмиссионные линии бальмеровской серии $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$, имеющие узкие и широкие компоненты. Линия $H\alpha$ слилась с линиями азота $[NII]\lambda 6548$ и $[NII]\lambda 6584$. Очевидно поэтому измеренная ширина FWHM широкой компоненты $H\alpha$ несколько превышает ширину соответствующей компоненты линии $H\beta$. В спектре присутствуют также эмиссионные линии $[OIII]\lambda 4960$, $[OIII]\lambda 5007$ и комплекс линий $Fe II\lambda 4570$ ($\lambda 4434 - \lambda 4684$). Характеристики всех линий представлены в табл. 8. Красное

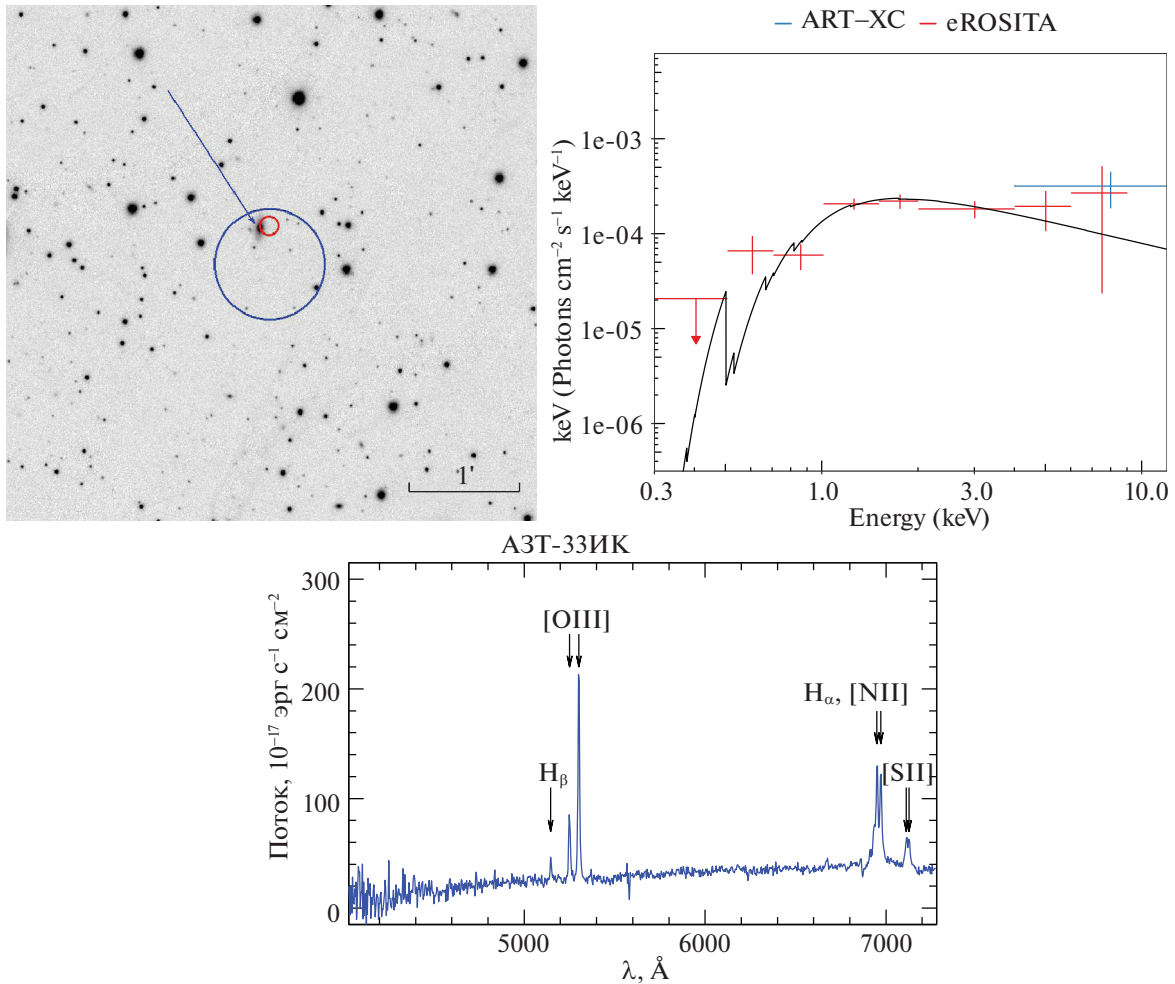


Рис. 6. То же, что на рис. 3, но для SRGA J200431.6+610211.

смещение, определенное по шести линиям излучения, равно $z = 0.2834 \pm 0.0003$. Отношение потоков в узких линиях $\lg([\text{OIII}]\lambda 5007/\text{H}\beta) = 0.66$, а отношение $\lg([\text{NII}]\lambda 6584/\text{H}\alpha)$ трудно оценить из-за слияния линий. Относительная узость широких компонент бальмеровских линий ($FWHM(\text{H}\beta) < 2000$ км/с) и наличие заметной эмиссии Fe II свидетельствуют о том, что этот объект является сейфертовской галактикой 1-го типа с узкими линиями (Narrow Line Seyfert 1 Galaxy).

В рентгеновском спектре объекта (рис. 7) нет признаков дополнительного поглощения, кроме поглощения в нашей Галактике. При фиксированном наклоне степенного спектра $\Gamma = 1.8$ получается строгий верхний предел на внутреннее поглощение: $N_{\text{H}} < 4 \times 10^{20}$ см $^{-2}$.

SRGA J232446.8+440756. Этот рентгеновский источник был открыт в диапазоне 4–12 кэВ телескопом ART-XC обсерватории СРГ и при этом

не был зарегистрирован в более мягком рентгеновском диапазоне телескопом eROSITA.

Рентгеновский источник можно отождествить с неправильной галактикой 2MASX J23244834 + 4407564 = WISEA J232448.36 + 440756.5 (рис. 8). Известно ее красное смещение: $z = 0.04634$ (Хучра и др., 2012), а ИК-цвет ($W1 - W2 = 0.83$) указывает на наличие активного ядра. Однако до сих пор галактика не классифицировалась как АЯГ по данным оптической спектроскопии.

Оптические наблюдения проводились 10 июня 2020 г. на телескопе РТТ-150. Было получено девять спектральных изображений с экспозицией по 600 с, общее время экспозиции составило 90 мин.

На полученном спектре (рис. 8) видны узкие эмиссионные линии $\text{H}\alpha$, $\text{H}\beta$, $[\text{OIII}]\lambda 4959$, $\lambda 5007$, $[\text{NII}]\lambda 6584$, а так же дублет $[\text{SII}]$. Характеристики линий приведены в табл. 9. Красное смещение определено по пяти эмиссионным лини-

Таблица 7. Спектральные особенности SRGA J200431.6+610211 = 2MASX J20043237+6102311

Линия	Длина волны, Å	Поток, 10^{-16} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$	Экв. ширина, Å	<i>FWHM</i> , км/с
H β	5147	18.0 ± 1.2	-6.7 ± 0.5	$(4.7 \pm 0.7) \times 10^2$
OIII λ 4959	5250	57 ± 5	-19 ± 4	$(4.8 \pm 0.7) \times 10^2$
OIII λ 5007	5302	196 ± 7	-59 ± 3	$(4.8 \pm 0.7) \times 10^2$
H α	6950	110 ± 11	-23 ± 2	$(4.7 \pm 0.5) \times 10^2$
NIII λ 6584	6972	111 ± 11	-23 ± 2	$(5.0 \pm 0.5) \times 10^2$
SIII λ 6718	7113	31 ± 3	-7.7 ± 0.6	$(5.5 \pm 0.4) \times 10^2$
SIII λ 6732	7129	31 ± 3	-7.7 ± 0.6	$(5.2 \pm 0.4) \times 10^2$

Таблица 8. Спектральные особенности SRGA J224125.9+760343 = WISEA J224125.79+760353.8

Линия	Длина волны, Å	Поток, 10^{-16} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$	Экв. ширина	<i>FWHM</i> , км/с
H γ , узкая	5579	<0.8	>-1.2	—
H γ , широкая	5579	17.4 ± 0.8	-26 ± 1	$(2.1 \pm 0.2) \times 10^3$
FeIII λ 4570	5982	18.6 ± 1.3	—	—
H β , узкая	6239	4.4 ± 0.3	-6.4 ± 0.4	$(3.8 \pm 0.9) \times 10^2$
H β , широкая	6239	51 ± 1	-35 ± 2	$(1.5 \pm 0.2) \times 10^3$
OIII λ 4959	6365	7.7 ± 0.2	-11.3 ± 0.3	$(3.7 \pm 0.9) \times 10^2$
OIII λ 5007	6428	20.1 ± 0.3	-29 ± 1	$(3.7 \pm 0.9) \times 10^2$
H α , узкая	8429	6.0 ± 0.9	-8.8 ± 1.3	$(2.8 \pm 0.7) \times 10^2$
H α , широкая	8429	197 ± 3	-288 ± 5	$(2.3 \pm 0.1) \times 10^3$

Таблица 9. Спектральные особенности SRGA J232446.8+440756 = 2MASX J23244834+4407564

Линия	Длина волны, Å	Поток, 10^{-16} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$	Экв. ширина, Å	<i>FWHM</i> , км/с
H β	5087	27 ± 4	-12 ± 3	$(7.4 \pm 1.0) \times 10^2$
OIII λ 4959	5189	74 ± 9	-42 ± 9	$(6.8 \pm 1.0) \times 10^2$
OIII λ 5007	5239	196 ± 12	-102 ± 17	$(7.3 \pm 1.0) \times 10^2$
H α	6865	134 ± 9	-41 ± 6	$(5.3 \pm 0.8) \times 10^2$
NIII λ 6584	6887	46 ± 7	-17 ± 3	$(1.5^{+3.7}_{-1.5}) \times 10^2$

SRGA J224125.9 + 760343

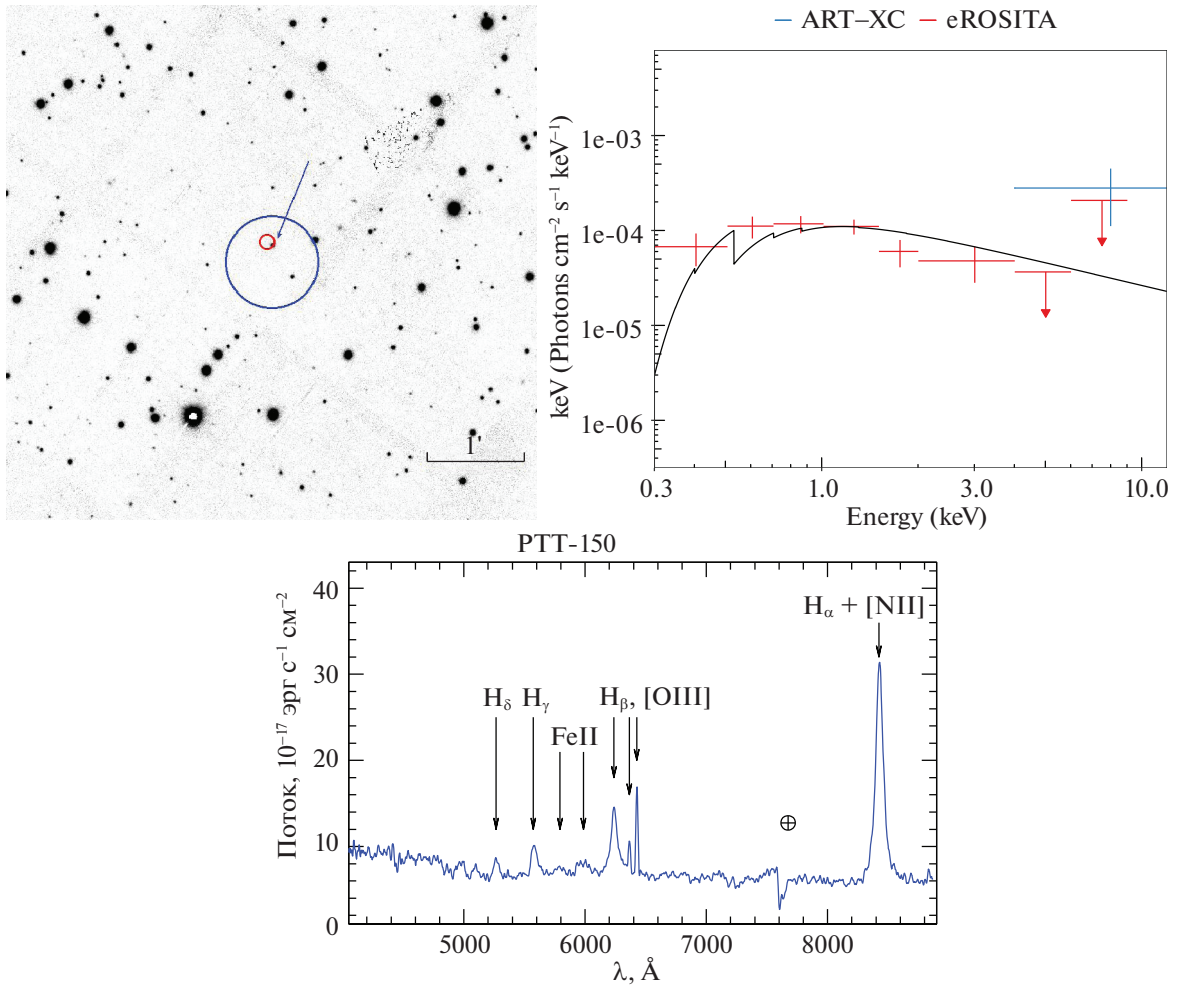


Рис. 7. То же, что на рис. 3, но для SRGA J224125.9+760343. В отличие от других источников, показана степенная модель с наклоном $\Gamma = 2.4$, которая обеспечивает лучшее качество аппроксимации, чем модель со стандартным наклоном $\Gamma = 1.8$.

ям и равно $z = 0.04624 \pm 0.00020$, что согласуется с ранее измеренным значением Хучра и др. (2012). Отношения $\lg([\text{NII}]\lambda 6584/\text{H}\alpha) = -0.46 \pm \pm 0.07$, $\lg([\text{OIII}]\lambda 5007/\text{H}\beta) = 0.86 \pm 0.07$. По положению на ВРТ-диаграмме (рис. 9) и отсутствию широких линий объект может быть отнесен к сейфертовским галактикам 2-го типа.

Отсутствие детектирования телескопом eROSITA в сочетании с потоком в диапазоне 4–12 кэВ, измеренным телескопом ART-XC (рис. 8), позволяет поставить строгий нижний предел на колонку поглощения на луче зрения: $N_{\text{H}} > 3 \times 10^{23} \text{ см}^{-2}$.

СВОЙСТВА ОБНАРУЖЕННЫХ АЯГ

В табл. 10 представлены основные свойства активных ядер галактик, которые удалось отождествить в данной работе. Помимо красного смещения и оптического типа, для каждого объекта

приводится оценка колонковой плотности холодного вещества внутри объекта вдоль луча зрения N_{H} и его рентгеновская светимость L_{X} в диапазоне энергий 4–12 кэВ.

Рентгеновская светимость была получена на основе потока в диапазоне энергий 4–12 кэВ, измеренного телескопом ART-XC обсерватории СРГ, и фотометрического расстояния до объекта, рассчитанного по его красному смещению. Приведенные значения L_{X} не учитывают k -поправки и не направлены за поглощение на луче зрения. Первая из этих поправок не должна быть существенной, принимая во внимание небольшие красные смещения объектов и то, что наклон рентгеновских спектров АЯГ не сильно отличается от $\Gamma = 2$. Что касается поправки за поглощение, то, хотя она может оказаться большой для трех объектов выборки с большой колонкой поглощения ($N_{\text{H}} > 10^{23} \text{ см}^{-2}$), ее практически невозможно надежно учесть на

SRGA J232446.8 + 440756

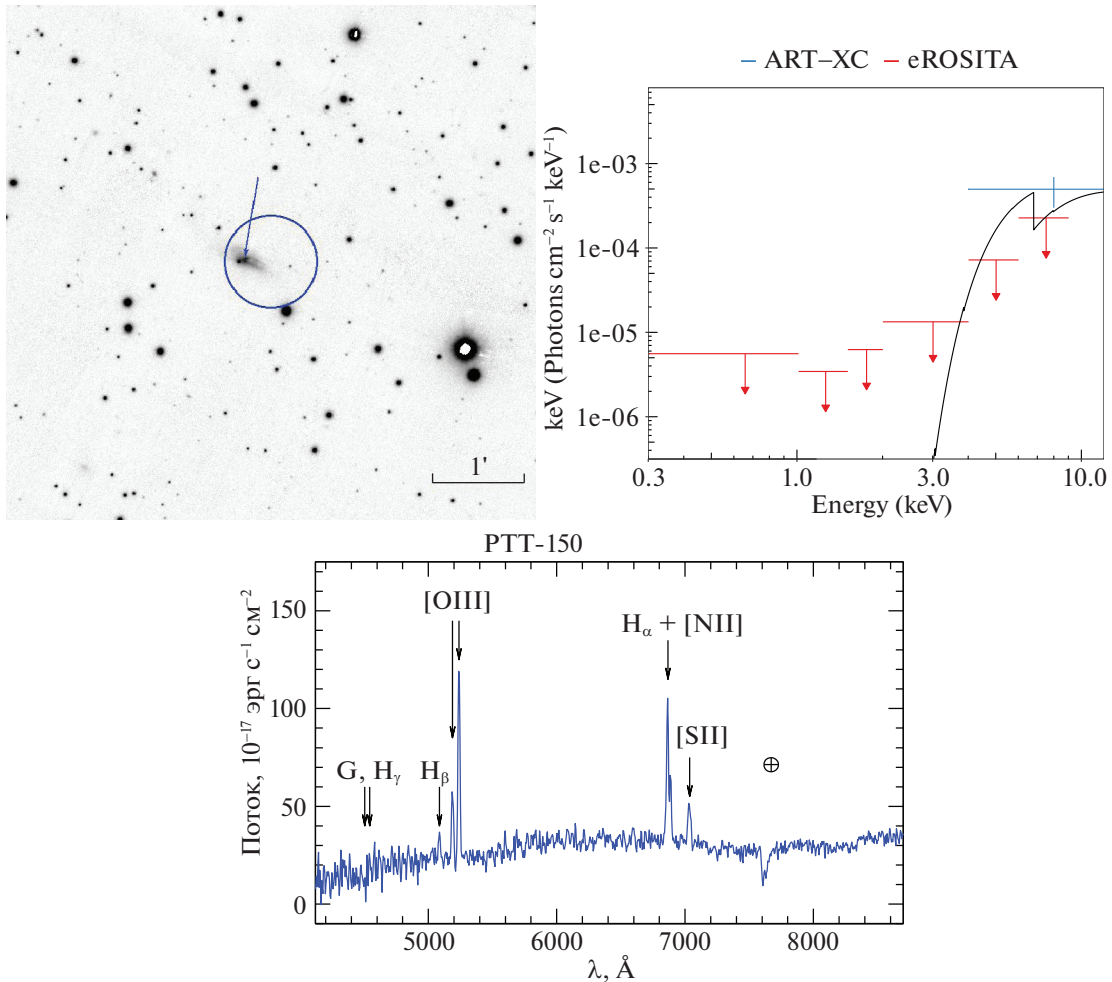


Рис. 8. То же, что рис. 1, но для SRGA J232446.8+440756.

основе существующих данных телескопов ART-XC и eROSITA (слишком мало зарегистрированных фотонов). Поэтому надо иметь в виду, что истинная светимость этих сильно поглощенных АЯГ может быть в несколько раз больше, чем указано в таблице.

Как видно из табл. 10, большинство обсуждаемых объектов — сейфертовские галактики со светимостью $L_X \sim 10^{42} - 10^{44}$ эрг/с в близкой Вселенной ($z < 0.1$), за исключением источника SRGA J224125.9+760343 на красном смещении $z = 0.28$ со светимостью $L_X \sim 10^{45}$ эрг/с, который, используя традиционную терминологию, можно отнести к квазарам.

Практически все исследованные объекты попадают в область сейфертовских галактик на стандартной ВРТ-диаграмме (рис. 9) отношений потоков в линиях [OIII] λ 5007/ $H\beta$, [NII] λ 6484/ $H\alpha$. SRGA J005751.0+210846 не помещен на эту диаграмму, потому что по имеющимся оптическим

спектрам невозможно получить требуемую информацию о линиях излучения. В этом случае мы имеем дело с галактикой (LEDA 1643776), наблюдаемой с ребра, так что области линейчатого излучения в ее активном ядре могут быть полностью скрыты от наблюдателя. SRGA J224125.9+760343 тоже не попал на ВРТ-диаграмму, так как широкая компонента линии $H\alpha$ слилась с линией [NII] λ 6484, из-за чего оценить параметры линии не представляется возможным. При этом оба объекта несомненно являются АЯГ, так как характеризуются большой рентгеновской светимостью. Как уже обсуждалось выше, объект SRGA J014157.0-032915 располагается на ВРТ-диаграмме в области звездообразующих галактик, но рядом с областью сейфертовских галактик. Вероятно, узкие эмиссионные линии в его спектре формируются не только в результате аккреции вещества на СМЧД в ядре галактики, но и в результате мощного звездообразования в галактике.

Таблица 10. Свойства активных ядер галактик

Объект	Оптический тип ¹	z	N_{H}^2	$\log L_{\text{X}}^3$
SRGA J005751.0+210846	Sy2 ⁴	0.04798 ± 0.00002	$>1 \times 10^3$	$43.7_{-0.3}^{+0.2}$
SRGA J014157.0-032915	Sy2	0.01878 ± 0.00003	$>3 \times 10^2$	$42.5_{-1.2}^{+0.3}$
SRGA J043209.6+354917	Sy1	0.0506 ± 0.0010	$3.0_{-0.7}^{+0.8}$	$43.8_{-0.3}^{+0.2}$
SRGA J045049.8+301449	Sy1.9	0.03308 ± 0.00004	38_{-10}^{+11}	$43.4_{-0.3}^{+0.2}$
SRGA J152102.3+320418	Sy2	0.1143 ± 0.0003	25_{-6}^{+6}	$44.1_{-0.4}^{+0.2}$
SRGA J200431.6+610211	Sy2	0.05866 ± 0.00013	$4.7_{-1.4}^{+2.2}$	$43.6_{-0.3}^{+0.2}$
SRGA J224125.9+760343	NLSy1	0.2834 ± 0.0004	<0.4	$44.9_{-0.6}^{+0.2}$
SRGA J232446.8+440756	Sy2	0.0462 ± 0.0002	$>3 \times 10^2$	$43.5_{-0.3}^{+0.2}$

¹ Sy1, Sy1.9, Sy2 — сейфертовская галактика типа 1, 1.9, 2 соответственно, NLSy1 — сейфертовская галактика 1-го типа с узкими линиями.

² В единицах 10^{21} см^{-2} , погрешности и пределы соответствуют уровню достоверности 90%, а для источника SRGA J014157.0-032915 представлен 68% уровень.

³ Не поправленная за поглощение светимость в наблюдаемом диапазоне энергий 4–12 кэВ в единицах эрг/с.

⁴ Классификация условная, так как галактика наблюдается с ребра.

Шесть из восьми исследованных объектов (если включить наблюдаемый с ребра SRGA J005751.0+210846) оказались сейфертовскими галактиками 2-го или промежуточного типа (1.9). Обнаружение заметного поглощения в их рентгеновских спектрах является вполне ожидаемым.

Один из объектов (SRGA J224125.9+760343) оказался сейфертовской галактикой 1-го типа с узкими линиями. Мы можем оценить массу СМЧД в этом объекте по формуле (Вестергард и Петерсон, 2006):

$$\begin{aligned} \lg M_{\text{BH}} = & \\ = \lg & \left[\left(\frac{FWHM(\text{H}\beta)}{1000 \text{ км/с}} \right)^2 \left(\frac{L(\text{H}\beta)}{10^{42} \text{ эрг/с}} \right)^{0.63} \right] + \\ & + 6.67. \end{aligned}$$

В нашем случае $FWHM(\text{H}\beta) = (1.5 \pm 0.2) \times 10^3 \text{ км/с}$, поток в линии $F(\text{H}\beta) = (1.30 \pm 0.02) \times 10^{-14} \text{ эрг с}^{-1} \text{ см}^{-2}$ (см. табл. 8), что при $z = 0.2834$ позволяет оценить светимость в линии $L(\text{H}\beta) \approx 3.3 \times 10^{42} \text{ эрг/с}$. В итоге находим $M_{\text{BH}} \approx 2.3 \times 10^7 M_{\odot}$.

Для такой относительно небольшой черной дыры критическая эддингтоновская светимость составляет $L_{\text{Edd}} \approx 3 \times 10^{45} \text{ эрг/с}$. При этом измеренная светимость источника SRGA J224125.9+760343 в рентгеновском диапазоне энергий (4–12 кэВ)

составляет $L_{\text{X}} \sim (2-13) \times 10^{44} \text{ эрг/с}$. Так как болометрическая светимость L_{bol} АЯГ обычно превышает рентгеновскую светимость как минимум в несколько раз (см., например, Сазонов и др., 2004), то мы приходим к выводу, что в случае SRGA J224125.9+760343 $L_{\text{bol}} \sim L_{\text{Edd}}$. Это соответствует общепризнанной парадигме (см., например, Матхур, 2000), что в сейфертовских галактиках 1-го типа с узкими линиями аккреция вещества СМЧД происходит в темпе, близком к критическому.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нам удалось отождествить восемь новых активных ядер галактик среди рентгеновских источников, зарегистрированных в ходе первого обзора неба с помощью телескопа ART-XC обсерватории СРГ. Были измерены красные смещения этих объектов, а также изучены их оптические и рентгеновские свойства. Большинство объектов оказались сейфертовскими галактиками 2-го типа, с заметным поглощением в рентгеновском спектре. Для трех АЯГ колонка поглощения на луче зрения превышает $3 \times 10^{23} \text{ см}^{-2}$, из-за чего они регистрируются только в достаточно жестком рентгеновском диапазоне с помощью телескопа ART-XC и не регистрируются в более мягком рентгеновском диапазоне с помощью телескопа eROSITA. В одном из этих объектов (SRGA J005751.0+210846)

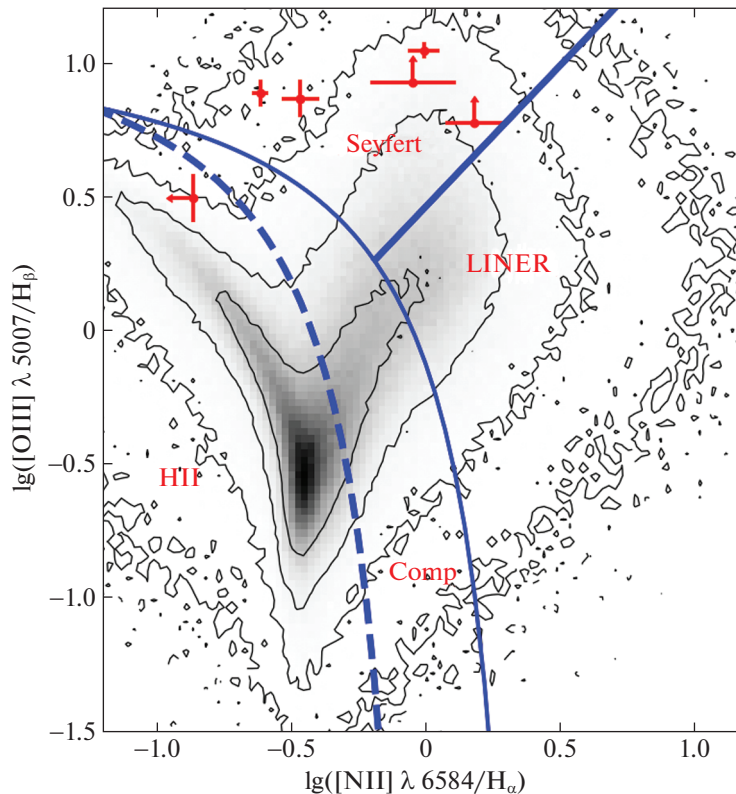


Рис. 9. Расположение исследуемых АЯГ (красные точки и пределы) на BPT-диаграмме (Балдвин и др., 1981), полученной по данным Слоановского обзора (выпуск 7, Сообщество СДСС 2009). Разграничительные линии между разными классами галактик взяты из работ: Кауффманн и др. (2003) — штриховая линия, Кеули и др. (2001) — тонкая линия, Жавински и др. (2007) — толстая линия. Показаны только шесть объектов, для которых нам удалось определить параметры требуемых линий. Диаграмма построена с помощью сайта http://wwwmpa.mpa-garching.mpg.de/SDSS/DR7/Data/gal_line_dr7_v5_2.fit.gz.

поглощение, возможно, связано в основном с толщиной межзвездного газа в родительской галактике, которая наблюдается с ребра. Один из объектов (SRGA J224125.9+760343) оказался сейфертовской галактикой 1-го типа с узкими линиями и светимостью, близкой к эддингтоновскому пределу.

Результаты данной работы подтверждают ожидания, что телескоп ART-XC является эффективным инструментом для поиска сильно поглощенных и других интересных активных ядер галактик в относительно близкой ($z \lesssim 0.3$) Вселенной. Обзор неба обсерватории СРГ продлится еще более трех лет, что должно позволить открыть множество таких объектов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 19-12-00396. Авторы благодарят TÜBİTAK, ИКИ РАН, КФУ и АН РТ за поддержку наблюдений на российско-турецком 1.5-м телескопе (РТТ-150). Измерения на телескопе АЗТ-ЗЗИК выполнены в рамках базового финансирования программы

ФНИ П.16 и получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования “Ангара”⁶. Работа ИФБ, ЭНИ, ЕАН выполнена за счет средств субсидии (проект № 0671-2020-0052), выделенной Казанскому федеральному университету, для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В.Л., Додонов С.Н., Амирханян В.Р., Моисеев А.В., Астрофиз. бюлл. **71**, 514 (2016) [V.L. Afanasiev, et al., *Astrophys. Bull.* **71**, 479].
2. Балдвин и др. (J.A. Baldwin, M.M. Phillips, and R. Terlevich), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **93** (1981).
3. Бехти и др. (N. Ben Bekhti, L. Flöer, R. Keller, J. Kerp, D. Lenz, B. Winkel, et al.), *Astron. Astrophys.* **594**, A116 (2016).
4. Боллер и др. (Th. Boller, M.J. Freyberg, J. Trümper, F. Haberl, W. Voges, and K. Nandra), *Astron. Astrophys.* **588**, A103 (2016).

⁶ <http://ckp-ri.ru/ckp/3056/>

5. 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**, 5 (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**, 333 (2016)].
6. Вайт и др. (N.E. White, P. Giommi, and L. Angelini), *VizieR On-line Data Catalog IX/31*, (2000).
7. Верон-Сетти и др. (M.-P. Véron-Cetty, P. Véron, and A.C. Gonçalves), *Astron. Astrophys.* **372** (2001).
8. Вестергард, Петерсон (M. Vestergaard and B.M. Peterson), *Astron. Astrophys.* **641**, 2 (2006).
9. Жавински и др. (K. Schawinski, D. Thomas, M. Sarzi, C. Maraston, S. Kaviraj, S.-J. Joo, S.K. Yi, and J. Silk), *MNRAS* **382**, 4 (2007).
10. Исследовательский научный центр XMMNewton, *VizieR On-line Data Catalog IX/53*, (2018). [The XMM-Newton Survey Science Centre]
11. Кауффманн и др. (G. Kauffmann, T.M. Heckman, C. Tremonti, J. Brinchmann, S. Charlot, S.D.M. White, et al.), *MNRAS* **346**, 4 (2003).
12. Кеули и др. (L.J. Kewley, M.A. Dopita, R.S. Sutherland, C.A. Heisler, and J. Trevena), *Astron. J.* **556**, 1 (2001).
13. С. Матхур (S. Mathur), *MNRAS* **314**, 4 (2000).
14. О и др. (K. Oh, M. Koss, C.B. Markwardt, K. Schawinski, W.H. Baumgartner, S.D. Barthelmy, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **235**, 1 (2018).
15. Остерброк (D.E. Osterbrock), *Astrophys. J.* **241**, 462 (1981).
16. Павлинский и др. (M.N. Pavlinski et al.), готовится к публикации (2021).
17. Предель и др. (P. Predehl, R. Andritschke, V. Arefiev, V. Babyshkin, O. Batanov, M. Becker, et al.), *Astron. Astrophys.* in press, (2020); [arxiv.org:2010.03477.pdf](https://arxiv.org/abs/2010.03477)
18. Райт и др. (E.L. Wright, P.R.M. Eisenhardt, A.K. Mainzer, M.E. Ressler, R.M. Cutri, T. Jarrett, J.D. Kirkpatrick, D. Padgett, et al.), *Astron. J.* **140**, 1868 (2010).
19. Сазонов и др. (S.Yu. Sazonov, J.P. Ostriker, and R.A. Sunyaev), *MNRAS* **347**, 1 (2004).
20. Сообщество СДСС, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **182**, 2 (2009) [SDSS Collaboration: K.N. Abazajian, J.K. Adelman-McCarthy, M.A. Agüeros, S.S. Allam, P.C. Allende Prieto et al.]
21. Сообщество СДСС, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **219**, 1 (2015) [SDSS Collaboration: S. Alam, F.D. Albareti, P.C. Allende, F. Anders, S.F. Anderson, et al.]
22. Сообщество СДСС, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **233**, 25 (2017) [SDSS Collaboration: F.D. Albareti, C.A. Prieto, A. Almeida, et al.]
23. Сюняев и др. (R.A. Sunyaev et al.), готовится к публикации (2021).
24. Хучра и др. (J.P. Huchra, L.M. Macri, K.L. Masters, T.H. Jarrett, P.C. Berlind, M. Calkins, A.C. Crook, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **199**, 2 (2012).
25. Чэмберс и др. (K.C. Chambers, E.A. Magnier, N. Metcalfe, H.A. Flewelling, M.E. Huber, C.Z. Waters, et al.), [arxiv.org:1612.05560.pdf](https://arxiv.org/abs/1612.05560). (2016).
26. Эванс и др. (P.A. Evans, K.L. Page, J.P. Osborne, A.P. Beardmore, R. Willingale, D.N. Burrows, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **247**, 2 (2020).