

ОБЗОР ПЛОСКОСТИ ГАЛАКТИКИ В ОБЛАСТИ ГАЛАКТИЧЕСКОЙ ДОЛГОТЫ $L \simeq 20^\circ$ ТЕЛЕСКОПОМ ART-XC ОБСЕРВАТОРИИ СРГ. КАТАЛОГ ИСТОЧНИКОВ

© 2023 г. Д. И. Карасев^{1*}, А. Н. Семена¹, И. А. Мереминский¹, А. А. Лутовинов¹,
Р. А. Буренин¹, Р. А. Кривонос¹, С. Ю. Сазонов¹, В. А. Арефьев¹, М. В. Бунтов¹,
И. Ю. Лапшов¹, В. В. Левин¹, М. Н. Павлинский¹, А. Ю. Ткаченко¹, А. Е. Штыковский¹

¹Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

Поступила в редакцию 20.10.2023 г.

После доработки 20.10.2023 г.; принята к публикации 21.11.2023 г.

Представлен каталог источников, зарегистрированных рентгеновским телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского космической обсерватории СРГ во время наблюдений области галактической плоскости вблизи долготы $l \simeq 20^\circ$ (поле L20) в октябре 2019 г. Поле L20 наблюдалось 4 раза в режиме сканирования, что позволило получить равномерное покрытие области неба общей площадью $\simeq 24$ кв. градусов с медианной чувствительностью 8×10^{-13} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$ (при полноте детектирования 50%) в диапазоне энергий 4–12 кэВ. В результате удалось значимо зарегистрировать 29 рентгеновских источников, из которых 11 ранее не детектировались другими обсерваториями. Предварительные оценки показывают, что четыре из них, предположительно, могут иметь внегалактическую природу. Также показано, что источник SRGA J183220.1–103508 (CXOGSG J183220.8–103510), вероятнее всего, является скоплением галактик, содержащим яркую радиогалактику, на красном смещении $z \simeq 0.121$.

Ключевые слова: галактическая плоскость, рентгеновские обзоры неба, каталог источников, SRGA J183220.1–103508, CXOGSG J183220.8–103510, IGR J18214–1318.

DOI: 10.31857/S0320010823110037, **EDN:** NPZDDG

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее интересных для изучения областей неба является галактическая плоскость, населенная большим количеством рентгеновских источников различной природы. Среди них имеются катаклизмические переменные, рентгеновские двойные системы (массивные и маломассивные), а также протяженные источники рентгеновского излучения, такие как остатки вспышек сверхновых, пульсарные туманности и др. Глубокие наблюдения галактической плоскости позволяют обнаруживать все большее количество рентгеновских источников в нашей Галактике (см., например, обзоры обсерватории ИНТЕГРАЛ, Мольков и др., 2004; Ревнивцев и др., 2006; Бёрд и др., 2006; Кривонос и др., 2012, 2017) и изучать статистические и пространственные распределения объектов различных классов.

В 2019 г. после запуска космической обсерватории Спектр–Рентген–Гамма (СРГ, Сюняев и

др., 2021), прежде чем переходить к выполнению основной ее задачи — обзору всего неба, необходимо было протестировать и изучить характеристики приборов обсерватории в реальных условиях. На этом этапе “калибровки и проверки работоспособности” (Calibration and performance verification, CalPV), в частности, требовалось выяснить возможности телескопов по изучению слабых источников рентгеновского излучения, расположенных вблизи плоскости Галактики. Тестовая площадка на небе для решения этой задачи подбиралась таким образом, чтобы она была удалена от слишком ярких рентгеновских источников (которые могли бы существенно ухудшить фоновые условия при детектировании слабых источников) и областей со значительным межзвездным поглощением, что критически важно для наблюдений с помощью телескопа eРОЗИТА (Предел и др., 2021), работающего в мягком рентгеновском диапазоне энергий. В результате было выбрано галактическое поле размером $\simeq 6^\circ \times 4^\circ$ с координатами центра $l \simeq 20^\circ, b \simeq 0^\circ$, которое мы будем в дальнейшем называть полем L20.

* Электронный адрес: dkarasev@cosmos.ru

Таблица 1. Список сканирующих наблюдений поля L20, проведенных рентгеновским телескопом ART-XC в CalPV фазе

<i>N</i>	Obs. ID	TSTART, UTC	RA, градус	Dec, градус	Эксп., кс
1	50000600100	2019-10-13 05:59	274.6405	−13.1485	50
2	50000700100	2019-10-13 20:48	274.6384	−13.0986	50
3	50000800100	2019-10-15 16:52	274.6362	−13.0486	50
4	50000900100	2019-10-16 07:42	274.6340	−12.9987	50

Хотя программа CalPV в первую очередь предназначена для проверки работоспособности приборов, эти данные также подходят и для научных исследований. В настоящей работе мы представляем результаты глубокого обзора области галактической плоскости L20, основанного на данных телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского (Павлинский и др., 2021), полученных в октябре 2019 г.

НАБЛЮДЕНИЯ

Рентгеновский телескоп с оптикой косоугольного падения ART-XC состоит из семи одинаковых модулей, чувствительных в диапазоне энергий 4–30 кэВ (с максимумом эффективной площади в диапазоне энергий 7–11 кэВ). Поле зрения имеет диаметр 36', что позволяет проводить широкоугольные обзоры неба на относительно высоких энергиях с высокой чувствительностью и однородностью. Дополнительными преимуществами телескопа являются высокая стабильность инструментального фона благодаря расположению обсерватории СРГ в точке либрации L2 системы Солнце–Земля и защита детектора от боковой засветки рентгеновскими фотонами (Павлинский и др., 2021).

В фазе калибровки и проверки работоспособности телескоп ART-XC наблюдал поле L20 в течение примерно 200 кс в режиме сканирования. Благодаря этому режиму обсерватория СРГ может проводить исследования участков неба, размеры которых существенно превышают размеры поля зрения его телескопов. Делается это с помощью медленного прохода по “змейке” через нужную область на небе (Павлинский и др., 2021). Кроме того, этот режим наблюдений благоприятен с точки зрения равномерности получаемой экспозиции и качества фона.

При наблюдениях поля L20 было проведено четыре скана в период с 13 по 16 октября 2019 г. (см. табл. 1 и рис. 1). При этом в каждом скане покрывалась схожая область неба размером $\simeq 6^\circ \times 4^\circ$, а траектории движения поля зрения телескопа в разных наблюдениях повторялись за исключением небольшого $\simeq 1.5'$ смещения по склонению. Благодаря выбранной стратегии удалось покрыть

поле L20 площадью $\simeq 24$ кв. градусов с медианной эффективной экспозицией $\simeq 830$ с.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Для детектирования источников в исследуемом поле использовался метод, основанный на сравнении вероятностей наблюдаемого ансамбля событий для модели, включающей фон и точечный источник в заданном положении на небе или только фон, который является оптимальным для выбора модели (Семена и др., 2023а). Указанный алгоритм ранее успешно применялся для детектирования источников в поле галактического балджа (Семена и др., 2023b), а также согласуется с методами обработки, применявшимися при получении каталога источников обзора всего неба телескопа ART-XC (Павлинский и др., 2022).

При отборе источников в исследуемом поле мы руководствовались в первую очередь достижением высокой чистоты получаемого каталога, т.е. низкой доли ложных источников в нем. Для этого было проведено Монте-Карло моделирование пустого поля, с фоном частиц, фоном неба и экспозицией, эквивалентными обзору поля L20. В результате был выбран постоянный порог детектирования (в терминах функции правдоподобия) $\Delta \ln L > 11.4$, который обеспечивает математическое ожидание числа ложных источников $N_{\text{false}} = 1$ и постоянную плотность ложных источников во всем поле (подробнее см. Семена и др., 2023а).

Чувствительность обзора (т.е. рентгеновский поток источника, регистрируемого с заданной вероятностью) для используемого алгоритма зависит от интегральной характеристики, определяемой фоновыми условиями и отклонением источника от оптической оси в каждый момент наблюдения. При постоянном темпе счета фона, наблюдавшемся во время выполнения обзора, чувствительность в точке оказывается приблизительно пропорциональна виньетированной экспозиции. Интеграл полноты детектирования в зависимости от рентгеновского потока источника показан на рис. 2. Медианное значение чувствительности нашего обзора при полноте 50% составляет 8×10^{-13} эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$.

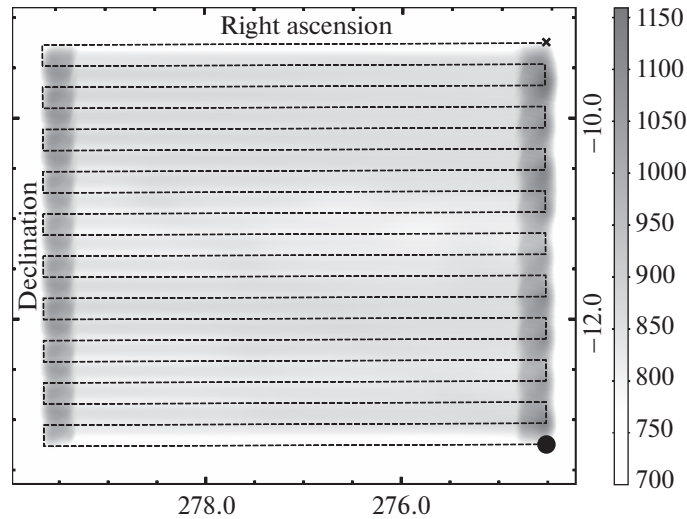


Рис. 1. Карта экспозиции обзора галактического поля L20, выполненного телескопом ART-XC. Черная линия показывает траекторию (“змейку”) движения центра поля зрения телескопа ART-XC в ходе одного из сканирующих наблюдений. Черным кружком отмечена точка начала сканирования, крестиком — точка окончания.

КАТАЛОГ ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ

Каталог источников, зарегистрированных телескопом ART-XC в поле L20 во время наблюдений в октябре 2019 г., включает 29 объектов. На рис. 3 представлено изображение области неба L20 в диапазоне энергий 4–12 кэВ, полученное телескопом ART-XC, с указанием обнаруженных источников. Список всех источников с координатами, потоками и другой информацией приведен в табл. 2, а ее содержание описано ниже.

Столбец (1) “Id” — номер источника в каталоге.

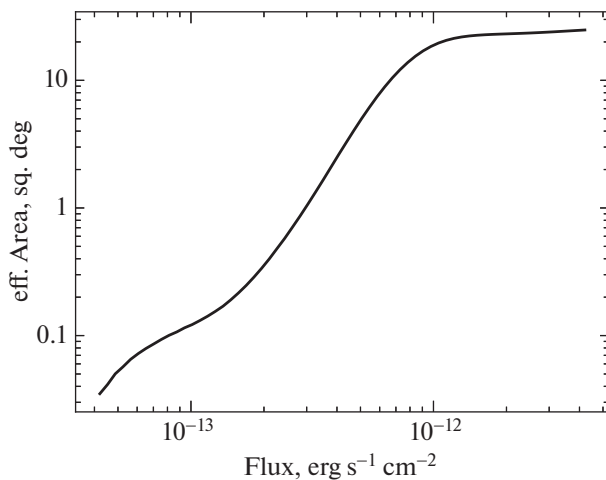


Рис. 2. $A_{\text{эф}} = \int \eta d\Omega$ — интеграл полноты детектирования (η — вероятность детектирования рентгеновского источника с заданным потоком с заданного направления неба) в зависимости от потока источника по всей площади обзора.

Столбец (2) “Имя” — название источника в каталоге. Приставка “SRGA” указывает на то, что источник зарегистрирован телескопом ART-XC обсерватории СРГ, а последующее числовое обозначение соответствует координатам источника на небе (J2000).

Столбцы (3, 4) “RA, Dec” — экваториальные координаты источника (J2000).

Столбец (5) “Ошибка лок.” — статистическая ошибка в угловых секундах на координаты источника.

Столбец (5) “Поток” — усредненный по времени поток источника в диапазоне энергий 4–12 кэВ и соответствующая погрешность.

Столбец (6) “ $\Delta \ln L$ ” — вероятность обнаружения источника (подробнее см. в тексте).

Столбец (7) “Известное имя” — общеизвестное название источника (если он уже был открыт и изучался ранее).

Столбец (8) “Класс” — астрофизический класс объекта.

Столбец (9) “Ссылки” — для хорошо изученных источников приведены ссылки на работы, в которых впервые установлена природа объекта, для малоизученных — на работы/каталоги, где впервые сообщается об открытии источника.

Используемые аббревиатуры и сокращения: АЯГ — активные ядра галактик; НМХВ — массивные рентгеновские двойные системы; ЛМХВ — маломассивные рентгеновские двойные системы; КП — катаклизмические переменные; ПП — промежуточные поляры; SNR — остатки сверхновых.

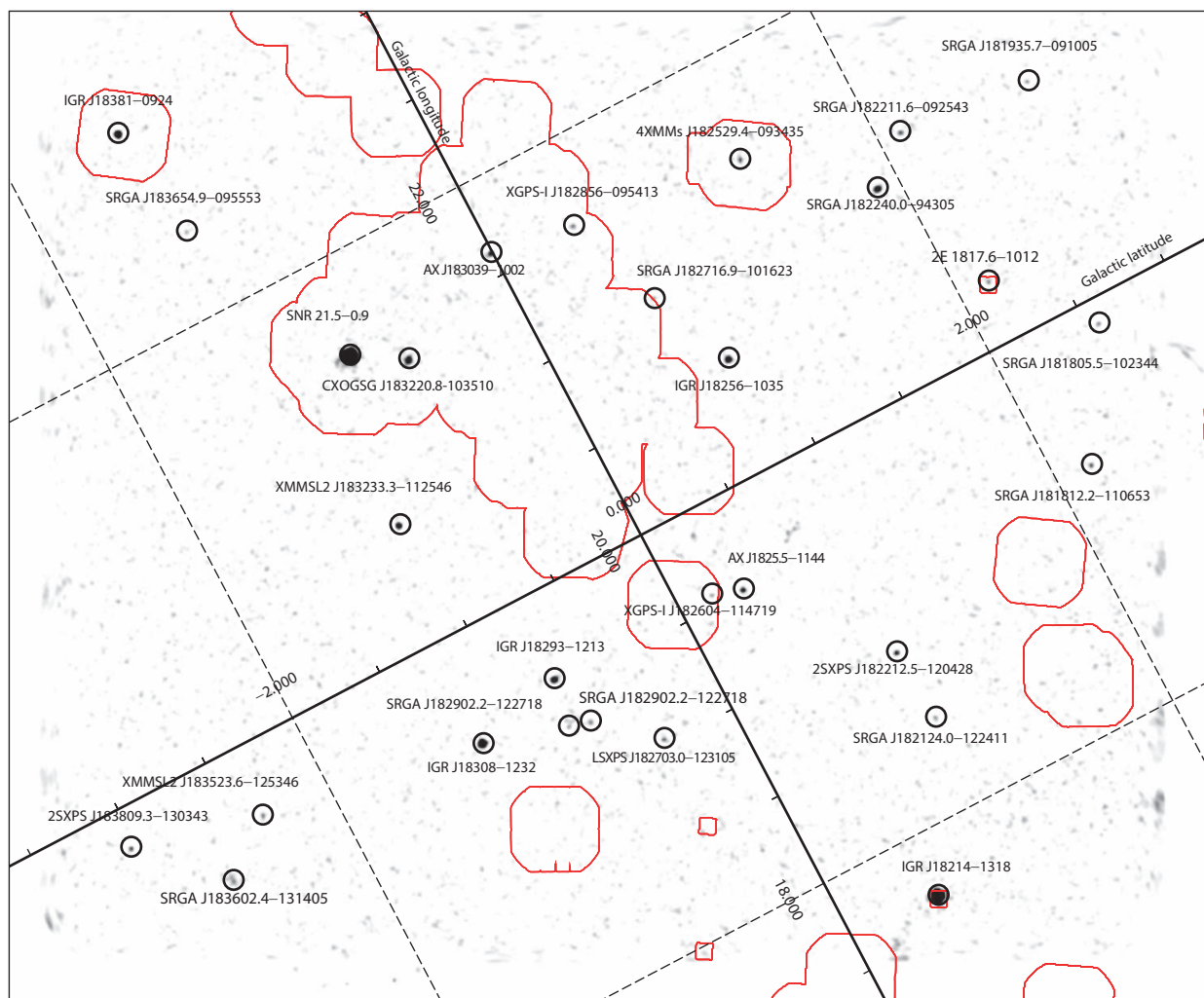


Рис. 3. Карта вероятности обнаружения точечных источников ($\Delta \ln L$, поисковая карта) в поле L20. Отмечены все зарегистрированные в обзоре объекты, для которых $\Delta \ln L > 11.4$. Новые источники (открытые телескопом ART-XC) имеют в названии приставку “SGRA”. Красными контурами отмечены границы обзора XGPS/XMM-Newton и области других глубоких точечных наблюдений обсерватории XMM-Newton в поле L20.

Чтобы выявить ранее известные рентгеновские источники в каталоге обзора L20, мы сопоставили его с каталогом источников, обнаруженных телескопом ART-XC в ходе первого года обзора всего неба обсерватории СРГ (в декабре 2019 г. — декабре 2020 г., Павлинский и др., 2022) и с каталогами источников других рентгеновских миссий. А именно, использовались каталог 4XMM-DR13 обсерватории XMM-Newton (Вебб и др., 2020), каталог CSC2 обсерватории Chandra (Эванс и др., 2010), каталог обзора галактической плоскости обсерватории ASCA (Сугизаки и др., 2001), каталоги обсерваторий ИНТЕГРАЛ (Кривонос и др., 2022; Бёрд и др., 2006) и Swift (Эванс и др., 2020, 2023).

Известные источники в обзоре

Рассматриваемое поле L20 ранее полностью или частично наблюдалось другими рентгеновски-

ми обсерваториями в рамках обзорных программ и точечных наблюдений. Поэтому 18 из 29 зарегистрированных телескопом ART-XC источников уже были известны ранее как рентгеновские источники, а 8 из них были ранее классифицированы с помощью многоволновых наблюдений. В табл. 3 приведена статистика по этим объектам, и видно, что даже эта небольшая выборка очень разнообразна. Для сравнения, в области галактического балджа, где телескопом ART-XC был сделан схожий обзор, преобладают катаклизмические переменные (Семена и др., 2023b).

Необходимо подчеркнуть, что использованный при детектировании источников алгоритм разрабатывался для поиска точечных источников (Семена и др., 2023a). Протяженное излучение может также производить сигнал, превышающий порог детектирования, но получаемые при этом значения

Таблица 2. Каталог источников, обнаруженных в поле L20 телескопом CRГ/ART-XC

Id	Имя	RA, градус	Dec, градус	Ошибка лок., 68% (90%), "	Поток, $\times 10^{-12}$, эрг $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$	$\Delta \ln L$	Известное имя	Класс	Ссылки
N001	SRGA J181805.5-102344	274.5229	-10.3957	17.1(24.7)	$0.55^{+0.13}_{-0.10}$	14.8			
N002	SRGA J181812.2-110653	274.5508	-11.1147	14.3(20.9)	$0.82^{+0.19}_{-0.11}$	19.9			
N003	SRGA J181935.7-091005	274.8987	-9.1679	19.8(28.4)	$0.89^{+0.32}_{-0.23}$	12.2			1
N004	SRGA J182022.1-101106	275.0919	-10.1851	20.1(28.9)	$0.46^{+0.18}_{-0.13}$	12.0	2E 1817.6-1012	Т Тельца	2
N005	SRGA J182120.2-131836	275.3343	-13.3100	8.3(12.1)	$33.08^{+1.03}_{-0.93}$	1767.2	IGR J18214-1318	HMXB	
N006	SRGA J182124.0-122411	275.3501	-12.4029	19.0(27.4)	$1.05^{+0.42}_{-0.18}$	11.8			
N007	SRGA J182211.6-092543	275.5482	-9.4286	18.2(25.6)	$0.82^{+0.27}_{-0.09}$	19.1			
N008	SRGA J182212.8-120423	275.5533	-12.0731	13.3(19.0)	$1.61^{+0.25}_{-0.22}$	32.6	2SXPS J182212.5-120428		3
N009	SRGA J182240.0-094305	275.6667	-9.7181	13.0(18.6)	$1.95^{+0.34}_{-0.27}$	63.9			
N010	SRGA J182525.1-114529	276.3545	-11.7582	15.3(21.4)	$1.50^{+0.22}_{-0.16}$	38.8	AX J1825.5-1144		4
N011	SRGA J182529.5-093417	276.3731	-9.5714	18.6(27.3)	$0.95^{+0.18}_{-0.16}$	21.4	4XMMs J182529.4-093435		5
N012	SRGA J182543.7-103501	276.4321	-10.5837	11.7(16.9)	$2.13^{+0.32}_{-0.28}$	72.7	IGR J18256-1035	LXMB	6
N013	SRGA J182603.5-114708	276.5146	-11.7855	16.2(23.4)	$1.11^{+0.35}_{-0.22}$	13.9	XGPS-I J182604-114719		7
N014	SRGA J182704.0-123106	276.7668	-12.5185	16.3(23.7)	$0.78^{+0.19}_{-0.14}$	17.0	LSXPS J182703.0-123105		8
N015	SRGA J182716.9-101623	276.8206	-10.2731	18.1(26.8)	$0.56^{+0.25}_{-0.11}$	11.7			
N016	SRGA J182834.2-122557	277.1424	-12.4324	23.3(32.3)	$0.60^{+0.27}_{-0.06}$	12.0			
N017	SRGA J182856.8-095429	277.2366	-9.9081	20.6(29.3)	$0.75^{+0.24}_{-0.18}$	13.9	XGPS-I J182856-095413		7
N018	SRGA J182902.2-122718	277.2590	-12.4549	17.0(24.7)	$0.65^{+0.23}_{-0.11}$	12.5			
N019	SRGA J182920.4-121254	277.3350	-12.2149	12.1(17.1)	$2.71^{+0.20}_{-0.21}$	89.3	IGR J18293-1213	КП/ПП	9
N020	SRGA J183037.9-100247	277.6578	-10.0464	13.9(19.6)	$1.57^{+0.29}_{-0.19}$	43.2	AX J183039-1002	АЯГ	10
N021	SRGA J183050.3-123221	277.7096	-12.5390	10.1(14.5)	$4.35^{+0.43}_{-0.27}$	205.3	IGR J18308-1232	КП/ПП	11
N022	SRGA J183220.1-103508	278.0836	-10.5855	14.1(19.9)	$1.64^{+0.27}_{-0.14}$	54.8	CXOGSG J183220.8-103510		12
N023	SRGA J183233.7-112547	278.1403	-11.4298	12.3(17.6)	$2.05^{+0.28}_{-0.21}$	73.3	XMMSL2 J183233.3-112546		13
N024	SRGA J183333.6-103403	278.3901	-10.5674	7.8(10.3)	~25*	2473.1	SNR 21.5-0.9	SNR/Пульсар	14
N025	SRGA J183525.2-125404	278.8551	-12.9012	17.3(24.7)	$1.01^{+0.30}_{-0.18}$	15.4	XMMSL2 J183523.6-125346		13
N026	SRGA J183602.4-131405	279.0099	-13.2348	21.5(30.9)	$1.00^{+0.28}_{-0.21}$	12.2			
N027	SRGA J183654.9-095553	279.2288	-9.9315	16.8(24.7)	$0.77^{+0.30}_{-0.14}$	11.4			
N028	SRGA J183810.0-130336	279.5415	-13.0601	14.5(21.5)	$0.81^{+0.20}_{-0.12}$	23.7	2SXPS J183809.3-130343		3
N029	SRGA J183818.7-092552	279.5781	-9.4311	10.7(15.2)	$2.80^{+0.36}_{-0.27}$	143.8	IGR J18381-0924	АЯГ	15

* Алгоритм поиска источников, используемый в работе, разработан для поиска точечных источников. Указанный источник протяженный и поэтому мы допускаем некоторую неточность в определении его потока (подробнее см. текст). **Примечание.** (1) Фигельсон и Декампли (1981), (2) Батлер и др. (2009), (3) Эванс и др. (2020), (4) Сугизаки и др. (2001), (5) Вебб и др. (2020), (6) Мазетти и др. (2013), (7) Хэндс и др. (2004), (8) Эванс и др. (2023), (9) Клавель и др. (2016), (10) Малиция и др. (2023), (11) Бернардини и др. (2012), (12) Эванс и др. (2010), (13) XMM-SSC (2018), (14) Бекер и др. (1981), (15) Томсик и др. (2016).

Таблица 3. Статистика источников известной природы в поле L20, зарегистрированных в обзоре телескопа ART-XC

Класс	Количество
АЯГ	2
НМХВ	1
ЛМХВ	1
КП/ПП	2
Т Тельца	1
SNR/Пульсар	1

статистики детектирования и потоков будут некорректны. Частным случаем являются протяженные объекты с размерами порядка функции размытия точечного источника (ФРТИ) телескопа ($\approx 53''$, в среднем для режима обзора, Павлинский и др., 2021). Для таких источников порог детектирования будет примерно таким же, как для точечных источников, а оцениваемый поток будет близок к интегралу поверхностной яркости источника. Примером такой регистрации является остаток вспышки сверхновой SNR 21.5–0.9 — один из ярчайших источников в поле L20, имеющий размер $\approx 85''$ (Матсон, Сафи-Харб, 2010).

Новые и неклассифицированные источники

Помимо известных рентгеновских источников, с помощью телескопа ART-XC в поле L20 удалось зарегистрировать 11 новых объектов (выделены жирным шрифтом в табл. 2). Большинство из них находятся в областях, не покрытых глубокими наблюдениями других рентгеновских обсерваторий.

В частности, наиболее глубокое исследование, охватывающее часть поля L20, ранее было проведено обсерваторией XMM-Newton по программе XMM-Newton Galactic Plane Survey (XGPS, Хэндс и др. 2004). На рис. 3 красными контурами показаны область XGPS и зоны других точечных наблюдений обсерватории XMM-Newton. Все новые источники, открытые в обзоре ART-XC (обозначены SRGA), лежат за пределами этих контуров.

Мы провели предварительный поиск возможных компаньонов в других энергетических диапазонах для всех новых рентгеновских источников из обзора L20. В ряде случаев это позволило сделать предварительные выводы об их природе. Так, сравнивая список объектов ART-XC с каталогом обзора неба в радиодиапазоне VLASS (Гордон и др., 2021), мы установили, что в радиусы ошибок четырех новых рентгеновских источников из поля

L20 попадают достаточно яркие радиоисточники. Более того, все эти радиоисточники совпадают с источниками из инфракрасных обзоров Spitzer (Научный центр обсерватории Spitzer, 2009) или WISE (Марокко и др., 2021), причем ИК-цвета этих компаньонов (см. табл. 4) характерны для АЯГ (Штерн и др., 2012). Таким образом, эти четыре источника скорее всего являются АЯГ. Отметим, что вероятный радио/ИК-компаньон источника SRGA J182124.0–122411 ранее уже был классифицирован как квазар и внесен в Большой астрометрический каталог квазаров 3 (LQAC-3, Сукай и др. 2015).

Среди зарегистрированных телескопом ART-XC в поле L20 объектов есть также несколько ранее известных рентгеновских источников неизвестной природы. Два из них по описанным выше критериям также напоминают АЯГ (см. нижнюю часть табл. 4). Причем мягкий рентгеновский компаньон (XGPS-I J182856–095413) одного из них (SRGA J182856.8–095429) уже рассматривается ранее как внегалактический объект на основании анализа рентгеновских данных обсерватории XMM-Newton (Мотч и др., 2010).

Второй источник — SRGA J183220.1–103508 — расположен примерно в $20'$ от остатка вспышки сверхновой SNR 21.5–0.9, который раньше неоднократно наблюдался разными рентгеновскими телескопами в качестве калибровочной мишени. В каталогах обсерваторий Chandra (Ванг и др., 2016) и XMM-Newton (Вебб и др., 2020) этот источник, известный под именем CXOGSG J183220.8–103510, отмечен как протяженный. Кроме того, он совпадает с ярким (1.1 Ян) радиоисточником. Совокупность этих характеристик и имеющиеся наблюдательные данные обуславливают повышенный интерес к этому объекту и позволяют исследовать его природу более подробно.

SRGA J183220.1–103508

Чтобы исследовать морфологию источника, мы сложили изображения, полученные телескопом Chandra в 2000 г. (ObsIDs: 1842, 1843), в которых объект располагался близко к оптической оси телескопа. На суммарном фотонном изображении (рис. 4) хорошо видно, что источник состоит из двух компонент — точечной и протяженной, при этом положение точечного рентгеновского источника близко к положению радиоисточника, угловой размер которого, определенный методом радиоинтерферометрии, составляет гораздо меньше $1''$ (Корюкова и др., 2022; де Витт и др., 2023). При этом вклад точечного источника в полный поток составляет около 50%.

Таблица 4. Возможные радиокомпаньоны источников SRGA из обзора поля L20 по данным обзора VLASS и их ИК-цвета по данным обзора GLIMPSE/Spitzer (либо CatWISE2020/WISE, отмечено)

Имя	Радиокомпаньон	RA градус	DEC градус	Поток _{VLASS} мЯн	I1-I2 (или W1-W2)	I3-I4
SRGA J181812.2-110653	VLASS1QLCIR J181811.98-110659.3	274.5499	-11.1165	281.52 ± 2.84	1.09 ± 0.19	0.56 ± 0.18
SRGA J181935.7-091005	VLASS1QLCIR J181934.70-090959.9	274.8946	-9.1667	2.22 ± 0.45	1.26 ± 0.06^W	—
SRGA J182124.0-122411	VLASS1QLCIR J182123.27-122412.6 ^{Q3}	275.3470	-12.4035	29.14 ± 0.32	0.85 ± 0.13	0.55 ± 0.14
SRGA J183602.4-131405	VLASS1QLCIR J183600.93-131352.0	279.0039	-13.2311	5.86 ± 0.35	0.74 ± 0.25	—
SRGA J182856.8-095429	—	277.2337 ^X	-9.9038 ^X	—	0.90 ± 0.10	0.71 ± 0.10
SRGA J183220.1-103508	VLASS1QLCIR J183220.84-103510.9 ^{Q3}	278.0869	-10.5864	1161.25 ± 2.89	0.83 ± 0.15	0.99 ± 0.21

^W — Из каталога CatWISE2020 (Марокко и др., 2021); ^{Q3} — отмечен как квазар в Large Quasar Astrometric Catalogue 3 (LQAC-3, Сукай и др. 2015); ^X — координаты из каталога 4XMM DR13, а не из обзора VLASS, как для других объектов.

Однако в данных Chandra содержится недостаточно фотонов, чтобы получить качественный спектр протяженной компоненты. Поэтому мы привлекли дополнительно два длительных наблюдения обсерватории XMM-Newton (ObsID: 0122700301, 0122700801), в которых источник был на расстоянии около $10'$ от оптической оси. Поскольку угловой размер протяженной компоненты ($R_c \approx 15''$, Вебб и др., 2020) сравним с характерной шириной ФРТИ на таком удалении от оси, мы извлекли его спектры в круговых апертурах радиусом $R = 50''$ из данных всех трех телескопов (EPIC-рп,

MOS1, MOS2), пренебрегая его протяженностью. Это может повлиять на абсолютную нормировку потока, но не должно оказать значимого влияния на форму спектра, которая интересует нас в первую очередь. Для последующего анализа мы сложили спектры, полученные в двух наблюдениях, отдельно — камерой EPIC-рп и отдельно — камерами MOS1 и MOS2.

Изначально мы аппроксимировали оба спектра, полученные XMM-Newton, одновременно моделью степенного закона с поглощением ТВАВS*(POW), включив в нее также кросс-нормировочную константу. Использовались сечения фотоионизации из работы Вернер и др. (1996) и обилия элементов из Вилмс и др. (2000). Такая модель плохо описывает данные ($\chi^2 = 588$ на 227 степеней свободы) и требует добавления эмиссионной линии на энергии около 6 кэВ. Ее добавление значительно улучшает качество аппроксимации ($\chi^2 = 269$ на 227 степеней свободы), при этом энергия узкой линии оказывается равной $E_{\text{line}} = 5.96^{+0.01}_{-0.01}$ кэВ, а ее эквивалентная ширина — около 0.6 кэВ. Континуум же оказывается довольно жестким, с показателем степенного закона $\Gamma = 1.8 \pm 0.2$, при этом требуется поглощение на уровне $N_{\text{H}} = 10.8^{+0.7}_{-0.8} \times 10^{22} \text{ см}^{-2}$.

Эмиссионные линии часто наблюдаются в остатках сверхновых (Кацуда, 2023), однако измеренная энергия не соответствует известным энергиям характеристических линий. Таким образом, галактическую природу источника можно исключить, а значит он является внегалактическим объектом. В таком случае можно было бы предположить, что точечный источник является АЯГ на $z \approx 0.08$, а эмиссионная линия — это флуоресцентная линия железа Fe $K\alpha$, эквивалентная ширина которой в комптоновски толстых АЯГ может превышать 1 кэВ (Лиу и др., 2010).

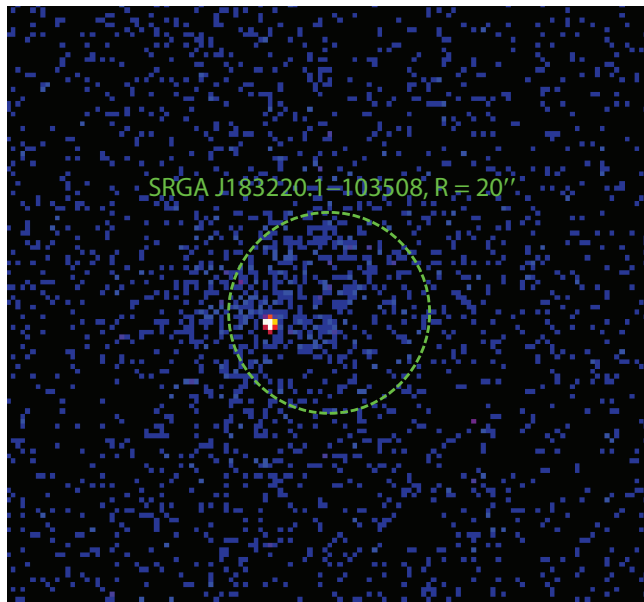


Рис. 4. Поле SRGA J183220.1–103508 по данным обсерватории Chandra. Показано фотонное изображение в диапазоне энергий 0.5–7 кэВ, с размером пиксела в $1''$. Зеленым кружком показана область локализации источника по данным ART-XC.

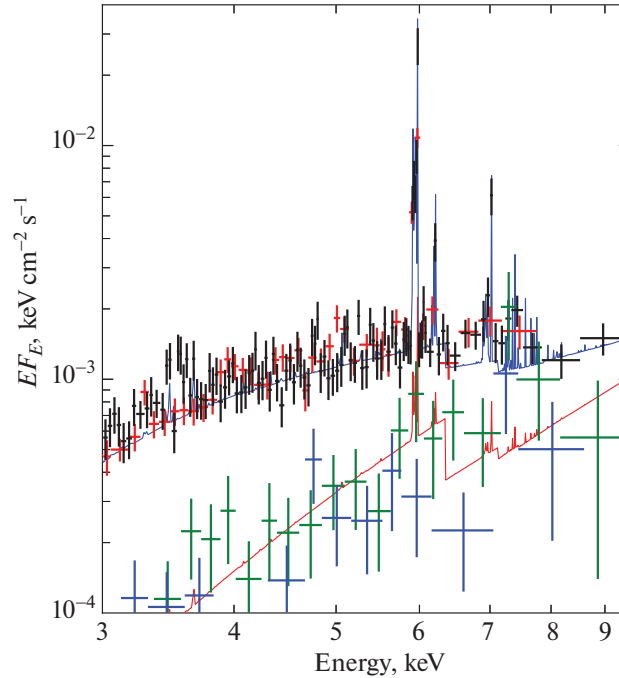


Рис. 5. Спектр SRGA J183220.1–103508 по данным обсерваторий XMM-Newton и Chandra: черным — данные телескопа EPIC-pn, красным — телескопов MOS1 и MOS2, синим и зеленым показан спектр центрального источника по данным Chandra, полученный в наблюдениях 1842 и 1843 соответственно. Сплошными линиями показана модель наилучшей аппроксимации (см. подробности в тексте).

Поскольку углового разрешения XMM-Newton недостаточно для того, чтобы надежно выделить вклад точечного источника в общий спектр, мы отдельно извлекли его спектр по данным Chandra в апертуре радиусом $2.5''$. В спектре центрального объекта нет указаний на избыток излучения в районе 6 кэВ. Другое возможное объяснение тогда состоит в том, что SRGA J183220.1–103508 представляет собой скопление галактик, расположенное на красном смещении $z \approx 0.12$. Тогда наблюдаемая эмиссионная линия может быть линией FeXXV (на энергии 6.7 кэВ в системе покоя источника), рождающейся в горячей плазме. Мы аппроксимировали суммарный спектр XMM-Newton и Chandra двухкомпонентной моделью, состоящей из спектра оптически тонкого излучения горячей плазмы, описывающего протяженное излучение, и степенного закона с отражением, отвечающего за вклад точечного источника: $\text{TBABS}^*(C_1 * \text{ARF} + \text{PEXRAV})$. Нормировочная константа принималась равной $C_1 = 0.05$ для спектра Chandra и $C_1 = 1$ для XMM-Newton и была определена как вклад протяженного излучения в спектр точечного источника.

Такая двухкомпонентная модель удовлетворительно описывает данные (рис. 5, $\chi^2 = 415$ на 407 степеней свободы), при этом красное смещение определяется как $z = 0.121 \pm 0.001$, температура плазмы составляет $kT = 4.4_{-0.5}^{+0.6}$ кэВ, обилие тя-

желых элементов относительно солнечного $Z = 0.65 \pm 0.10$, а колонка поглощения $N_H = (7.3 \pm 0.4) \times 10^{22} \text{ см}^{-2}$. Недостаток данных не позволяет надежно определить параметры спектра точечного источника, однако он может быть описан одной лишь отраженной компонентой (предполагая спектр падающего излучения с наклоном $\Gamma = 1.5$ и энергией завала $E_{\text{cut}} = 300$ кэВ). Такие спектры характерны для комптоновски толстых АЯГ (см., например, Семена и др., 2019). Полная светимость протяженной компоненты в стандартном рентгеновском диапазоне 0.5–10 кэВ составляет в таком случае $L_X = 2 \times 10^{44} \text{ эрг с}^{-1}$, что характерно для скоплений галактик с такой температурой (Гилес и др., 2016). Небольшой наблюдаемый размер скопления ($R \approx 30$ кпк) может быть связан с сильным поглощением на луче зрения в Галактике. Поскольку из имеющихся данных мы не можем надежно оценить величину внутреннего поглощения в центральном источнике, то мы можем только поставить нижний предел на его полную светимость $L_X \gtrsim 3 \times 10^{43} \text{ эрг с}^{-1}$.

Таким образом, на основе имеющихся данных можно сделать предварительный вывод, что SRGA J183220.1–103508 является радиогромким АЯГ, расположенным в скоплении галактик на $z = 0.121$. Чтобы подтвердить или опровергнуть эту гипотезу, желательно провести дополнительные рентгеновские и ИК-наблюдения, чтобы точ-

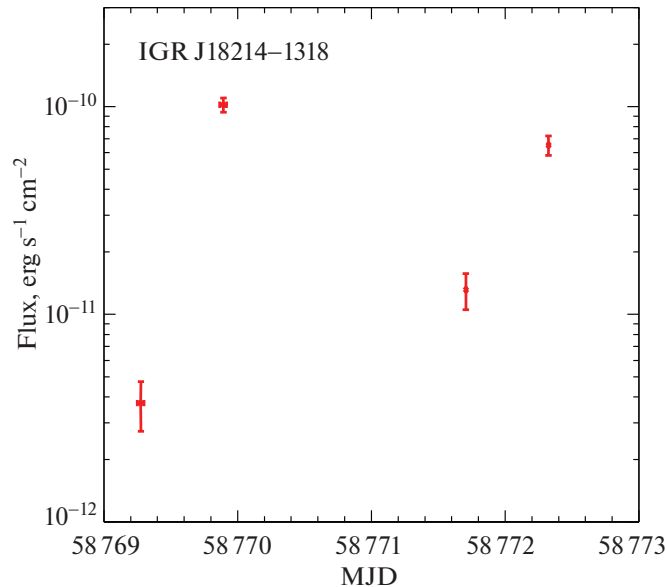


Рис. 6. Кривая блеска источника IGR J18214-1318, полученная телескопом ART-XC во время наблюдения поля L20. Каждая точка на рисунке соответствует среднему потоку источника в отдельном сканировании поля по “змейке”.

нее измерить параметры протяженной рентгеновской компоненты (в первую очередь ее размер) и отождествить галактики, входящие в скопление.

Остальные новые или плохо изученные объекты в каталоге источников ART-XC поля L20 не имеют каких-либо явных особенностей, позволяющих судить об их природе, и требуют более глубокого изучения, которое выходит за рамки настоящей работы. В частности, требуется уточнить положение

новых источников на небе, для чего необходимо провести наблюдения с помощью рентгеновских телескопов с более высоким угловым разрешением.

Переменность источников

Стратегия наблюдений СРГ/ART-XC, при которой поле L20 было охвачено четырьмя сканами в течение ~ 4 дней, позволяет нам исследовать переменность и вспышечную активность обнаруженных источников. Сравнив потоки источников в разных сканах, мы не выявили значимой переменности ни у одного из них за исключением IGR J18214-1318.

Этот источник, ранее классифицированный как массивная рентгеновская двойная система (Батлер и др., 2009), во время наблюдений телескопом ART-XC дважды регистрировался в ярком состоянии с потоком $(5 - 8) \times 10^{-11}$ эрг с $^{-1}$ см $^{-2}$, которому в обоих случаях предшествовало значительное (до порядка величины) понижение рентгеновского потока (рис. 6). Однако связаны ли эти вариации с орбитальной периодичностью системы (Кусумано и др., 2020) или с сильной собственной вспышечной активностью (Форнасини и др., 2017), заключить на основании только этих данных невозможно.

Для других источников поля L20, которые ранее регистрировались обсерваторией XMM-Newton, мы сравнили потоки в диапазоне энергий 4–12 кэВ, полученные в настоящей работе, с потоками из каталога 4XMM (DR13) в схожем энергетическом диапазоне 4.5–12 кэВ. На основании информации, собранной в табл. 5, можно заключить, что большинство этих источников являются переменными

Таблица 5. Сравнение усредненных по времени потоков (в единицах 10^{-12} эрг с $^{-1}$ см $^{-2}$) источников поля L20 по данным телескопа ART-XC и по данным каталога 4XMM-DR13 обсерватории XMM-Newton (в диапазонах энергий 4–12 кэВ и 4.5–12 кэВ соответственно)

Источник	Поток, ART-XC	Поток, 4XMM
IGR J18214-1318	$33.08^{+1.03}_{-0.93}$	13.00 ± 0.09
AX J183039-1002	$1.57^{+0.29}_{-0.19}$	1.50 ± 0.05
IGR J18308-1232	$4.35^{+0.43}_{-0.27}$	5.70 ± 0.06
IGR J18381-0924	$2.80^{+0.36}_{-0.27}$	1.80 ± 0.04
AX J1825.5-1144	$1.50^{+0.22}_{-0.16}$	1.20 ± 0.08
XGPS-I J182604-114719	$1.11^{+0.35}_{-0.22}$	0.38 ± 0.03
4XMMs J182529.4-093435	$0.95^{+0.18}_{-0.16}$	0.34 ± 0.01
XGPS-I J182856-095413	$0.75^{+0.24}_{-0.18}$	2.10 ± 0.12
CXOGSG J183220.8-103510	$1.64^{+0.27}_{-0.14}$	5.50 ± 0.08

на больших масштабах времени (несколько лет). Рентгеновские потоки некоторых из них изменились до трех раз во время обзора ART-XC относительно наблюдений обсерватории XMM-Newton.

Отметим также, что в ходе обзора L20, телескоп ART-XC не зарегистрировал излучение от известного барстера SAX J1828.5–1037 (Корнелисс и др., 2002). Это единственный яркий источник (поток $> 10^{11}$ эрг с $^{-1}$ см $^{-2}$ в каталоге 4XMM-DR13) среди всех известных в этой области неба, который не был задетектирован в нашем обзоре. Очевидно, в этот период времени источник не проявлял вспышечной активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам обзора галактического поля L20 проведенного в октябре 2019 г. телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского на борту рентгеновской обсерватории Спектр–РГ, можно заключить, что выбранная стратегия наблюдений продемонстрировала свою оптимальность с точки зрения получения глубоких однородных обзоров обширных участков неба. Поле L20 общей площадью $\simeq 24$ кв. градуса было рассмотрено с медианной чувствительностью 8×10^{-13} эрг с $^{-1}$ см $^{-2}$ (при полноте детектирования 50%). Это позволило зарегистрировать 29 источников рентгеновского излучения в диапазоне энергий 4–12 кэВ, 11 из которых ранее не регистрировались рентгеновскими обсерваториями. Согласно имеющимся многоволновым фотометрическим данным, четыре из них, вероятно, имеют внегалактическую природу и относятся к классу активных ядер галактик.

В работе также были детально исследованы свойства одного из известных ранее источников, зарегистрированных в обзоре, — SRGA J183220.1–103508 (CXOGSG J183220.8–103510). По нашим оценкам он, вероятнее всего, является скоплением галактик, содержащим яркую радиогалактику, на красном смещении $z \simeq 0.121$.

В работе использованы данные телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории Спектр–Рентген–Гамма (СРГ). Обсерватория СРГ разработана в АО “НПО Лавочкина” (входит в госкорпорацию “Роскосмос”) при участии Германского центра авиации и космонавтики (DLR) в рамках Федеральной космической программы России по заказу Российской академии наук. Команда телескопа ART-XC благодарит госкорпорацию “Роскосмос”, Российскую академию наук и госкорпорацию “Росатом” за поддержку разработки и создания телескопа ART-XC, а также АО “НПО Лавочкина” и партнеров за создание и работу с космическим аппаратом и платформой “Навигатор”. Работа в части поиска и исследования активных ядер галактик поддержана грантом РФФ 19-12-00396.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. XMM-SSC (XMM-SSC), VizieR Online Data Catalog, p. IX/53 (2018).
2. Батлер и др. (S.C. Butler, J.A. Tomsick, S. Chaty, J.A.Z. Heras, J. Rodriguez, R. Walter, et al.), *Astrophys. J.* **698**, 502 (2009).
3. Бекер и др. (R.H. Becker and A.E. Szymkowiak), *Astrophys. J. (Lett.)* **248**, L23 (1981).
4. Бернардини и др. (F. Bernardini, D. de Martino, M. Falanga, K. Mukai, G. Matt, J.M. Bonnet-Bidaud, et al.), *Astron. Astrophys.* **542**, A22 (2012).
5. Бёрд и др. (A.J. Bird, E.J. Barlow, L. Bassani, A. Bazzano, G. B’elanger, A. Bodaghee, et al.), *Astrophys. J.* **636**, 765 (2006).
6. Ванг и др. (S. Wang, J. Liu, Y. Qiu, Y. Bai, H. Yang, J. Guo, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **224**, 40 (2016).
7. Вебб и др. (N.A. Webb, M. Coriat, I. Traulsen, J. Ballet, C. Motch, F.J. Carrera, et al.), *Astron. Astrophys.* **641**, A136 (2020).
8. Вернер и др. (D.A. Verner, G.J. Ferland, K.T. Korista, and D.G. Yakovlev), *Astrophys. J.* **465**, 487 (1996).
9. Вилмс и др. (J. Wilms, A. Allen, and R. McCray), *Astrophys. J.* **542**, 914 (2000).
10. Гилес и др. (P.A. Giles, B.J. Maughan, F. Pacaud, M. Lieu, N. Clerc, M. Pierre, et al.), *Astron. Astrophys.* **592**, A3 (2016).
11. Гордон и др. (Y.A. Gordon, M.M. Boyce, C.P. O’Dea, L. Rudnick, H. Andernach, A.N. Vantyghem, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **255**, 30 (2021).
12. Кацуда (S. Katsuda), arXiv e-prints, p. arXiv:2302.13775 (2023).
13. Клавель и др. (M. Clavel, J.A. Tomsick, A. Bodaghee, J.L. Chiu, F.M. Fornasini, J. Hong, et al.), *MNRAS* **461**, 304 (2016).
14. Корнелисс и др. (R. Cornelisse, F. Verbunt, J.J.M. in’t Zand, E. Kuulkers, J. Heise, R.A. Remillard, et al.), *Astron. Astrophys.* **392**, 885 (2002).
15. Корякова и др. (T.A. Koryukova, A.B. Pushkarev, A.V. Plavin, and Y.Y. Kovalev), *MNRAS* **515**, 1736 (2022).
16. Кривонос и др. (R. Krivonos, S. Tsygankov, A. Lutovinov, M. Revnivtsev, E. Churazov, and R. Sunyaev), *Astron. Astrophys.* **545**, A27 (2012).
17. Кривонос и др. (R.A. Krivonos, S.S. Tsygankov, I.A. Mereminskiy, A.A. Lutovinov, S.Y. Sazonov, and R.A. Sunyaev), *MNRAS* **470**, 512 (2017).
18. Кривонос и др. (R.A. Krivonos, S.Y. Sazonov, E.A. Kuznetsova, A.A. Lutovinov, I.A. Mereminskiy, and S.S. Tsygankov), *MNRAS* **510**, 4796 (2022).
19. Кусумано и др. (G. Cusumano, A. D’Ai, A. Segreto, V. La Parola, and M. Del Santo), *MNRAS*, **498**, 2750 (2020).
20. Лиу и др. (T. Liu and J.-X. Wang), *Astrophys. J.* **725**, 2381 (2010).
21. Мазетти и др. (N. Masetti, P. Parisi, E. Palazzi, E. Jim’enez-Bail’on, V. Chavushyan, V. McBride, et al.), *Astron. Astrophys.* **556**, A120 (2013).

22. Малиция и др. (A. Malizia, L. Bassani, R. Landi, M. Molina, N. Masetti, E. Palazzi, et al.), *Astron. Astrophys.* **671**, A152 (2023).
23. Марокко и др. (F. Marocco, P.R.M. Eisenhardt, J.W. Fowler, J.D. Kirkpatrick, A.M. Meisner, E.F. Schlafly, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **253**, 8 (2021).
24. Мольков С.В., Черепашук А.М., Лутовинов А.А., Ревнивцев М.Г., Постнов К.А., Сюняев Р.А. Письма в Астрон. журн. **30**, 589 (2004) [S.V. Molkov, A.M. Cherepashchuk, A.A. Lutovinov, M.G. Revnitssev, K.A. Postnov, and R.A. Sunyaev, *Astron. Lett.* **30**, 534 (2004)].
25. Мотч и др. (C. Motch, R. Warwick, M.S. Cropper, F. Carrera, P. Guillout, F.X. Pineau, et al.), *Astron. Astrophys.* **523**, A92 (2010).
26. Научный центр обсерватории Spitzer (C. Spitzer Science), *VizieR Online Data Catalog*, p. II/293 (2009).
27. Павлинский и др. (M. Pavlinsky, A. Tkachenko, V. Levin, N. Alexandrovich, V. Arefiev, V. Babyshkin, et al.), *Astron. Astrophys.* **650**, A42 (2021).
28. Павлинский и др. (M. Pavlinsky, S. Sazonov, R. Burenin, E. Filippova, R. Krivonos, V. Arefiev, et al.), *Astron. Astrophys.* **661**, A38 (2022).
29. Предель и др. (P. Predehl, R. Andritschke, V. Arefiev, V. Babyshkin, O. Batanov, W. Becker, et al.), *Astron. Astrophys.* **647**, A1 (2021).
30. Ревнивцев М.Г., Сазонов С.Ю., Мольков С.В., Лутовинов А.А., Чуразов Е.М., Сюняев Р.А., Письма в Астрон. журн. **32**, (2006) [M.G. Revnitssev, S.Y. Sazonov, S.V. Molkov, A.A. Lutovinov, E.M. Churazov, and R.A. Sunyaev, *Astron. Lett.* **32**, 145 (2006)].
31. Семена и др. (A. Semena, I. Mereminskiy, A. Lutovinov, S. Sazonov, V. Arefiev, R. Burenin, et al.), submitted to *MNRAS*, Paper II (2023a).
32. Семена и др. (A.N. Semena and colleagues), *MNRAS*, submitted (2023b).
33. Сугизаки и др. (M. Sugizaki, K. Mitsuda, H. Kaneda, K. Matsuzaki, S. Yamauchi, and K. Koyama), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **134**, 77 (2001).
34. Сукай и др. (J. Souchay, A.H. Andrei, C. Barache, T. Kalewicz, C. Gattano, B. Coelho, et al.), *Astron. Astrophys.* **583**, A75 (2015).
35. Сюняев и др. (R. Sunyaev, V. Arefiev, V. Babyshkin, A. Bogomolov, K. Borisov, M. Buntov, et al.), arXiv e-prints, p. arXiv:2104.13267 (2021).
36. Томсик и др. (J.A. Tomsick, R. Krivonos, Q. Wang, A. Bodaghee, S. Chaty, F. Rahoui, et al.), *Astrophys. J.* **816**, 38 (2016).
37. Фигельсон, Декампли (E.D. Feigelson and W.M. Decampli), *Astrophys. J. (Lett.)* **243**, L89 (1981).
38. Форнасини и др. (F.M. Fornasini, J.A. Tomsick, M. Bachetti, R.A. Krivonos, F. Fürst, L. Natalucci, et al.), *Astrophys. J.* **841**, 35 (2017).
39. Хэндс и др. (A.D.P. Hands, R.S. Warwick, M.G. Watson, and D.J. Helfand), *MNRAS* **351**, 31 (2004).
40. Штерн и др. (D. Stern, R.J. Assef, D.J. Benford, A. Blain, R. Cutri, A. Dey, et al.), *Astrophys. J.* **753**, 30 (2012).
41. Эванс и др. (I.N. Evans, F.A. Primiini, K.J. Glotfelty, C.S. Anderson, N.R. Bonaventura, J.C. Chen, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **189**, 37 (2010).
42. 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**, 54 (2020).
43. Эванс и др. (P.A. Evans, K.L. Page, A.P. Beardmore, R.A.J. Eyles-Ferris, J.P. Osborne, S. Campana, et al.), *MNRAS* **518**, 174 (2023).
44. де Витт и др. (A. de Witt, C.S. Jacobs, D. Gordon, M. Bietenholz, M. Nickola, and A. Bertarini), *Astron. J.* **165**, 139 (2023).