

УДК 524.354.4

ОБЗОР ОБЛАСТИ ГАЛАКТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА В ЖЕСТКИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧАХ ТЕЛЕСКОПОМ IBIS ОБСЕРВАТОРИИ ИНТЕГРАЛ. КАТАЛОГ ИСТОЧНИКОВ

© 2004 г. М. Г. Ревнивцев^{1,2*}, Р. А. Сюняев^{1,2}, Д. А. Варшалович³, В. В. Железняков⁴, А. М. Черепашук⁵, А. А. Лутовинов¹, Е. М. Чуразов^{1,2}, С. А. Гребенев¹, М. Р. Гильфанов^{1,2}

¹Институт космических исследований РАН, Москва

²Институт астрофизики Общества им. Макса Планка, Гаршинг, Германия

³Физико-технический институт им. Иоффе, Санкт-Петербург

⁴Институт прикладной физики, Нижний Новгород

⁵Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва

Поступила в редакцию 15.01.2004 г.

В период с 23 августа по 24 сентября 2003 г. обсерваторией ИНТЕГРАЛ был проведен глубокий обзор области Галактического Центра с рекордной чувствительностью в области энергий выше 20 кэВ. В настоящей работе мы провели анализ изображений области Галактического Центра, полученных детектором ISGRI телескопа IBIS (15–200 кэВ), и приводим каталог зарегистрированных источников. Всего было зарегистрировано 60 источников с потоком выше 1.5 мКраба, из которых 44 идентифицированы ранее как двойные системы разных классов в нашей Галактике, 3 — как внегалактические объекты. Открыт один новый источник.

Ключевые слова: Галактический Центр, жесткие рентгеновские источники.

A HARD X-RAY SURVEY OF THE GALACTIC-CENTER REGION WITH THE IBIS TELESCOPE OF THE INTEGRAL OBSERVATORY: A CATALOG OF SOURCES, *by M. G. Revnivitsev, R. A. Sunyaev, D. A. Varshalovich, V. V. Zheleznyakov, A. M. Cherepashchuk, A. A. Lutovinov, E. M. Churazov, S. A. Grebenev, and M. R. Gilfanov.* From August 23 through September 24, 2003, the INTEGRAL Observatory conducted a deep survey of the Galactic-Center region with a record-breaking sensitivity at energies above 20 keV. We have analyzed the images of the Galactic-Center region obtained with the ISGRI detector of the IBIS telescope (15–200 keV) and give a catalog of detected sources. We detected a total of 60 sources with fluxes above 1.5 mCrab, 44 and 3 of which were previously identified as binary systems of different classes in our Galaxy and as extragalactic objects, respectively. We discovered one new source.

Key words: Galactic-Center, hard X-ray sources.

ВВЕДЕНИЕ

Яркие галактические рентгеновские источники, являющиеся в большинстве своем двойными системами с аккрецирующими черными дырами или нейтронными звездами, сильно концентрируются к галактической плоскости и, в особенности, к Галактическому Центру. В связи с этим при изучении популяции ярких компактных объектов в области Галактического Центра большую ценность представляют инструменты, позволяющие строить изображение изучаемой области. Долгое

время изображения в рентгеновском диапазоне восстанавливались по результатам сканирования областей неба детекторами с коллимированными полями зрения, как, например, на обсерваториях UHURU (Форман и др., 1978), HEAO1 (Вуд и др., 1984) и т.д. С появлением телескопов, использующих принцип косоугольного падения лучей (EINSTEIN, ROSAT, CHANDRA, XMM), угловое разрешение рентгеновских изображений сильно улучшилось. Однако телескопы, работающие по такому принципу, в настоящее время могут работать лишь на энергиях ниже ~10 кэВ.

*Электронный адрес: revnivitsev@hea.iki.rssi.ru

Фокусировка рентгеновских фотонов с энерги-

ями выше 30 кэВ очень сложна, поэтому в этой области энергий для построения изображений широко используется альтернативный способ получения изображения — принцип кодирующей апертуры (см., например, Фенимор, Кэннон, 1978; Скиннер и др., 1987а). Целый ряд телескопов, работающих на этом принципе, позволили получить очень интересные результаты, в частности, в области Галактического Центра, например, Spacelab2/XRT (Скиннер и др., 1987б), МИР/КВАНТ/ТТМ (Сюняев и др., 1990), ГРАНАТ/АРТ-П (Павлинский и др., 1992, 1994), ГРАНАТ/СИГМА (Кордые и др., 1991; Сюняев и др., 1991), ВерроSAX/WFC (Убертини и др., 1999).

Последний обзор Галактического Центра на энергиях выше 40 кэВ был завершен телескопом СИГМА на борту орбитальной обсерватории ГРАНАТ более 5 лет назад. На наблюдения Галактического Центра было потрачено более 5×10^6 с, обеспечивающих чувствительность в этом поле на уровне 3–5 мКрб в диапазоне энергий 40–150 кэВ (Чуразов и др., 1994). В настоящее время с помощью телескопа IBIS обсерватории ИНТЕГРАЛ мы имеем возможность повторить обзор Галактического Центра в жестких рентгеновских лучах с заметно лучшей чувствительностью в диапазоне 20–150 кэВ.

В настоящей работе мы провели анализ данных, полученных телескопом IBIS обсерватории ИНТЕГРАЛ во время глубокого обзора центра Галактики в августе–сентябре 2003 г. с целью картографирования данной области и обнаружения точечных рентгеновских источников. Суммарная экспозиция наблюдений составила примерно 2×10^6 с. Более подробный анализ параметров излучения этих объектов будет проведен в дальнейших статьях.

ОПИСАНИЕ ИНСТРУМЕНТА И АНАЛИЗ ДАННЫХ

Обсерватория ИНТЕГРАЛ (Винклер и др., 2003) была выведена на орбиту российской ракетой-носителем ПРОТОН 17 октября 2002 г. (Эйсмонт и др., 2003). В состав обсерватории входят четыре телескопа, однако в данной работе мы будем использовать только данные детектора ISGRI телескопа IBIS (Убертини и др., 2003). Этот инструмент дает максимально выгодное для нашей цели сочетание размера поля зрения, углового разрешения и чувствительности. Нижний детектор телескопа IBIS — PICsIT имеет рабочий диапазон энергий выше 170 кэВ и поэтому гораздо менее чувствителен к типичным рентгеновским источникам.

Телескоп IBIS работает по принципу кодирующей апертуры и позволяет восстанавливать изображение выбранного участка неба в поле зрения $29^\circ \times 29^\circ$ (область полного кодирования составляет $9^\circ \times 9^\circ$). Теневую структуру на детекторах ISGRI и PICsIT создает вольфрамовая маска. Позиционно-чувствительный детектор ISGRI состоит из 16 384 независимых полупроводниковых элементов CdTe. Подробное описание детектора можно найти в работе Леброна и др. (2003).

Данные всех наблюдений были обработаны следующим образом. Для каждого отдельного сеанса наблюдений энергии зарегистрированных событий были вычислены в соответствии с описанием OSA 3.0 (Голдвурм и др., 2003), используя таблицы GAIN и RISETIME версий 7 и 9 соответственно. События, аккумулярованные в детекторных координатах, были отфильтрованы на наличие “горячих” или “мертвых” пикселей, что привело к отсеву нескольких процентов пикселей детектора.

Исходные изображения детектора в энергетическом диапазоне 18–60 кэВ (обеспечивающем наилучшую чувствительность к типичным рентгеновским источникам) были затем перегруппированы в новую координатную сетку, имеющую размер пикселя, равный $1/3$ размера пикселя маски. Эта процедура приводит к неизбежному (хотя и небольшому) ухудшению пространственного разрешения прибора, однако позволяет непосредственно применить стандартные алгоритмы восстановления изображения, использующие быстрое преобразование Фурье для операции свертки. Изображения детектора были преобразованы в изображение неба с использованием метода “delta-decoding” (Фенимор, Кэннон, 1981, см. также Скиннер и др., 1987а). Для того чтобы учесть пространственно неоднородный фон детектора, была вычислена соответствующая матрица весов. Фон, использованный для вычисления такой матрицы, был получен в результате анализа большого массива наблюдений, настолько большого, чтобы вклад отдельных точечных источников рентгеновского неба в получаемый результат был пренебрежимо мал.

Для учета “духов” точечных источников, возникающих из-за эффектов неполного кодирования, была использована итерационная процедура вычитания ярких источников. Полученные в результате изображения были сложены. Окончательная карта была свернута с гауссианой, имеющей ширину, приблизительно соответствующую ширине настоящей пространственной функции отклика телескопа, которая несколько шире, чем идеальная функция отклика прибора, из-за эффектов перегруппировки пикселей детектора и сложения нескольких изображений, имеющих различную пространственную ориентацию.

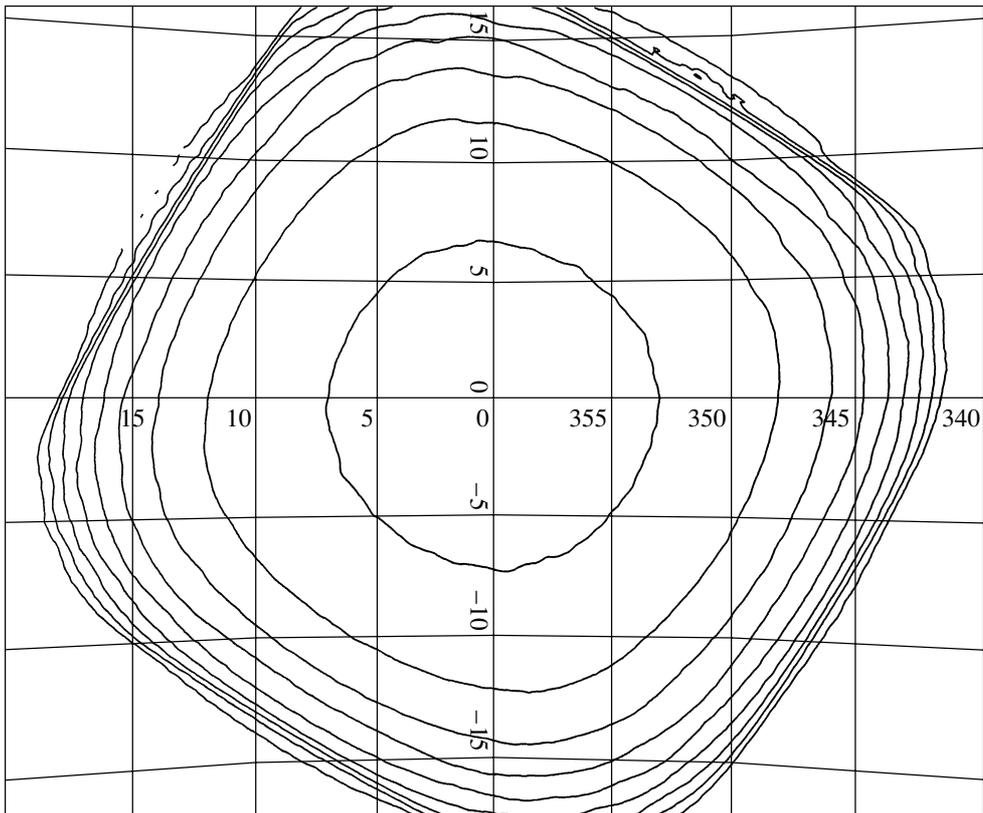


Рис. 1. Карта чувствительности, достигаемой при помощи использованных наблюдений. Контуры ограничивают области, в которых порог регистрации лучше, чем 1, 1.5, 2 и т.д. мКраб.

С целью калибровки, а также проверки правильности и эффективности применяемого алгоритма, аналогичная процедура была проделана для ряда наблюдений Крабовидной туманности, таким образом позволив нам напрямую сравнивать получаемые потоки источников с эталонным спектром Крабовидной туманности.

Анализ большого набора наблюдений Крабовидной туманности с различными положениями этого источника в поле зрения телескопа показал, что при использованном в данной работе программном обеспечении остаются систематические неопределенности абсолютного значения измеренного потока источников на уровне $\sim 10\%$. Точность локализации Крабовидной туманности составляет примерно $0.4 (1\sigma)$. Для более слабых источников точность локализации падает до $\sim 2-3'$.

При анализе изображений наличие пика с интенсивностью выше некоторого порога рассматривалось как признак присутствия точечного источника. Порог был выбран с учетом того, что в таком населенном и ярком поле как область Галактического Центра остаются неучтенные систематические эффекты, которые могут значительно поднять порог детектирования относительно чисто статистического уровня.

Статистический уровень детектирования в рассматриваемом поле, при учете количества независимых точек на изображении, составляет порядка 4σ , что может соответствовать одному ложному источнику в нашем поле. В нашем анализе мы приняли порог детектирования равным 6.5σ , чтобы не быть подверженным сильному влиянию систематических неопределенностей. Карта чувствительности при таком выборе порога детектирования показана на рис. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Список зарегистрированных источников вместе с их координатами и потоками в мКраб приведен в таблице. Поток 1 мКраб в диапазоне энергий 18–60 кэВ для источника, имеющего степенной спектр с фотонным индексом $\Gamma = 2.1$, соответствует энергетическому потоку $\sim 1.4 \times 10^{-11}$ эрг/с/см². Точность локализации источников в таблице составляет примерно $2-3'$ (радиус 90% доверительного контура).

Общее изображение поля размером $\sim 35^\circ \times 25^\circ$ приведено на рис. 2. Чтобы не загромождать рисунок, на нем подписаны не все источники, зарегистрированные во время наших наблюдений; пол-

Список источников, зарегистрированных в ходе глубокого обзора Центра Галактики, проведенного в августе–сентябре 2003 г. Источники расположены в порядке уменьшения значимости их регистрации

№	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	Поток (18–60 кэВ), мКраб ^a	σ	Идентификация	Класс
1	255.978	-37.841	187.5 ± 0.3	662.5	4U1700–377	HMXB, NS
2	265.977	-29.746	74.8 ± 0.2	491.8	1E1740.7–2942	LMXB, BH
3	270.308	-25.748	78.0 ± 0.2	478.2	GRS 1758–258	LMXB, BH
4	277.370	-23.805	93.6 ± 0.2	392.4	GS 1826–238	LMXB, NS
5	270.289	-25.080	42.7 ± 0.2	259.0	GX5–1	LMXB, NS
6	275.917	-30.367	32.3 ± 0.2	169.4	4U1820–303	LMXB, NS
7	256.424	-36.416	38.9 ± 0.2	160.5	GX349+2	LMXB, NS
8	261.887	-30.804	24.5 ± 0.2	151.6	4U1724–307 (Ter 2)	LMXB, NS
9	262.981	-33.831	22.9 ± 0.2	135.8	GX354–0	LMXB, NS
10	255.187	-41.658	59.7 ± 0.5	126.6	OAO1657–415	HMXB, NS
11	276.438	-37.113	29.0 ± 0.2	117.6	4U1822–371	LMXB, NS
12	263.354	-33.381	14.6 ± 0.2	88.4	RAPID BURSTER	LMXB, NS
13	266.991	-26.566	12.6 ± 0.2	81.7	GX3+1	LMXB, NS
14	270.387	-20.523	15.8 ± 0.2	77.2	GX9+1	LMXB, NS
15	266.519	-29.514	10.4 ± 0.2	69.3	A1742–294	LMXB, NS
16	264.560	-26.993	10.0 ± 0.2	64.4	SLX 1735–269	LMXB, NS
17	274.014	-14.037	37.3 ± 0.6	63.1	GX17+2	LMXB, NS
18	266.834	-30.010	7.6 ± 0.2	50.0	SLX1744–299/300	LMXB, NS
19	261.286	-36.280	9.5 ± 0.2	48.4	EXO 1722–363	HMXB?, NS
20	269.958	-22.019	8.6 ± 0.2	46.6	IGR/XTE J17597–2201	LMXB, NS
21	266.543	-32.235	7.2 ± 0.2	45.8	IGR J17464–3213/H1743–322	LMXB, BH?
22	264.729	-44.438	24.5 ± 0.6	43.9	4U1735–444	LMXB, NS
23	278.921	-32.995	10.9 ± 0.2	43.7	R1832–330 (NGC 6652)	LMXB, NS
24	256.540	-43.043	24.5 ± 0.6	43.6	4U1702–429	LMXB, NS
25	266.491	-28.923	6.2 ± 0.2	41.0	1E1742.8–2853	LMXB
26	257.290	-36.394	9.1 ± 0.2	39.4	IGR J17091–3624	?
27	266.404	-29.018	57.4 ± 0.2	37.9	AX J1745.6–2901	LMXB
28	266.580	-28.735	5.6 ± 0.2	37.3	1E1743.1–2843	LMXB
29	264.364	-29.137	5.3 ± 0.2	35.0	GRS1734–292	Активное Галактическое Ядро
30	263.003	-24.747	5.7 ± 0.2	34.3	GX1+4	LMXB, NS
31	267.466	-33.192	5.4 ± 0.2	33.8	SLX 1746–331	LMXB?
32	262.905	-16.991	9.9 ± 0.3	31.7	GX9+9	LMXB, NS
33	257.210	-44.089	17.0 ± 0.7	25.9	4U1705–440	LMXB, NS
34	270.690	-20.272	4.8 ± 0.2	23.0	SAX J1802.7–2017	HMXB, NS
35	273.630	-17.149	7.6 ± 0.3	22.8	GX13+1	LMXB, NS

Таблица. Окончание

№	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	Поток (18–60 кэВ), мКраб ^a	σ	Идентификация	Класс
36	265.152	-28.303	3.4 ± 0.2	22.4	SLX 1737–282	LMXB
37	273.780	-12.103	23.8 ± 1.2	20.6	M1812–12	LMXB, NS
38	258.140	-23.334	4.2 ± 0.2	20.1	Oph cluster	Скопление галактик
39	267.511	-37.061	3.5 ± 0.2	18.1	4U1746–370 (NGC 6441)	LMXB, NS
40	257.528	-28.162	3.5 ± 0.2	18.1	XTEJ1710–281	LMXB
41	258.159	-24.232	3.2 ± 0.2	15.8	V2400 Oph	CV
42	266.261	-28.902	2.3 ± 0.2	15.4	GRS 1741.9–2853	LMXB, NS
43	266.868	-28.370	2.2 ± 0.2	14.8	IGR J17475–2822(new) ^b	?
44	261.317	-32.976	2.5 ± 0.2	14.8	1RXS J172525.5–325717	?
45	266.205	-29.352	2.1 ± 0.2	14.1	KS1741–293	LMXB, NS
46	274.652	-17.040	4.9 ± 0.4	13.6	SAX J1818.6–1703	LMXB?
47	264.802	-30.329	2.0 ± 0.2	13.1	IGR/XTE J17391–3021	HMXB?
48	272.148	-20.446	2.8 ± 0.2	12.8	SGR 1806–20	SGR
49	267.335	-27.511	1.9 ± 0.2	12.7	AX J1749.2–2725	HMXB, NS
50	267.828	-20.174	2.5 ± 0.2	12.2	1RXS J175113.3–201214	?
51	257.294	-32.302	2.4 ± 0.2	12.1	4U1705–32	?
52	258.073	-37.652	2.9 ± 0.2	12.0	SAX J1712.6–3739	LMXB, NS
53	278.379	-21.084	3.3 ± 0.3	10.8	PKS 1830–211	Блазар
54	260.027	-31.288	1.6 ± 0.2	9.2	1RXS J172006.1–311702	?
55	265.745	-36.345	1.7 ± 0.2	9.0	XTE J1743–363	?
56	251.452	-45.609	17.5 ± 1.9	9.0	GX340+0	LMXB, NS
57	283.722	-31.133	4.1 ± 0.5	8.8	V1223 Sgr	CV
58	266.590	-21.543	1.3 ± 0.2	7.0	1RXS J174607.8–213333	?
59	257.245	-40.111	2.2 ± 0.3	6.5	1RXS J170849.0–40091	AXP, NS
60 ^b	268.585	-26.335	83.1 ± 2.0	30.0	IGR J17544–2619 ^b	?

^a Приведена лишь статистическая определенность потока. Систематическая неопределенность абсолютного значения потока ($\sim 10\%$) не включена.

^b Источник находится на расстоянии 0.7° от Галактического Центра и может являться суперпозицией нескольких более слабых точечных источников. Для прояснения этого обстоятельства нужны наблюдения с более высоким угловым разрешением.

^c Источник регистрировался лишь в небольшой серии наблюдений. Приведены максимальный поток и максимальная значимость регистрации в отдельных сеансах наблюдений.

ный список источников приведен в таблице. Увеличенное изображение области, непосредственно прилегающей к Галактическому Центру ($\sim 7^\circ \times 5^\circ$), построенное по данным телескопов ИНТЕГРАЛ/IBIS (18–60 кэВ) и МИР/КВАНТ/ТТМ (2–20 кэВ), приведено на рис. 3. Положение динамического центра Галактики (сверхмассивной черной дыры Sgr A*) показано крестом. Ввиду ограниченного пространственного разрешения телескопа IBIS мы не имеем возможности выделить излучение самого объекта Sgr A* (подробнее см. Багановф и др., 2003; Беланже и др., 2003).

Анализ изображений области Галактического Центра в энергетическом диапазоне 18–60 кэВ с характерной чувствительностью 1–2 мКраба позволил зарегистрировать в общей сложности 60 источников. Природа 51 из них известна, причем большинство (38 из 51) являются маломассивными

двойными системами (LMXB). Большая часть этих маломассивных систем является рентгеновскими барстерами (т.е. двойными системами с нейтронными звездами, время от времени демонстрирующими эпизоды нестабильного термоядерного горения на поверхности нейтронной звезды), однако в поле также присутствуют двойные системы (GX5–1, GX9+1, GX9+9, GX340+0) с нейтронными звездами, темп аккреции которых достаточно высок и термоядерное горение аккрецирующего вещества происходит в стационарном режиме (всплески отсутствуют).

В поле зрения были зарегистрированы 5 рентгеновских пульсаров — OAO1657–415, AXJ1749.2–2725, EXO1722–363, SAX J1802.7–2017 и GX1+4, которые, за исключением последнего, входят в состав массивных двойных систем (HMXB), и

один аномальный рентгеновский пульсар (АХР) — 1RXS J170849.0–40091.

Два источника (V1223 Sgr и V2400 Oph) являются катаклизмическими переменными (CV), один (Oph cluster=4U1708–23) — скоплением галактик, один (GRS 1734–292) — активным галактическим ядром, один (PKS 1830–211) — линзированным блазаром ($z \approx 2.5$), один (SGR 1806–20) — источником повторных мягких гамма-всплесков.

Из известных двойных систем только четыре (1E1740.7–2942, GRS 1758–258, SLX 1746–331 и IGR J17464–3213/H1743–31) содержат компактные объекты, являющиеся кандидатами в черные дыры (ВН).

Пять источников из приведенных в таблице, впервые были обнаружены обсерваторией ИНТЕГРАЛ, два из них — IGR J17544–2619, IGR J17475–2822 — в ходе рассматриваемых наблюдений (см. сноску ^б в таблице). Объект IGR J17544–2619 — ярко выраженный транзитный источник, который наблюдался лишь в течение короткого периода времени (Сюняев и др., 2003; Гребенев и др., 2003) и на усредненном изображении области Галактического Центра не регистрируется.

Таким образом, из 60 зарегистрированных во время глубокого обзора Галактического Центра источников неизвестную природу имеют девять. Четыре из них согласуются по положению с источниками, открытыми обсерваторией ROSAT.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минпромнауки (грант Президента РФ НШ-2083.2003.2) и программы РАН “Нестационарные явления в астрономии”. Авторы благодарят Международный Центр данных обсерватории ИНТЕГРАЛ (Версуа, Швейцария), а также Российский Центр данных обсерватории ИНТЕГРАЛ (Москва, Россия). Результаты данной работы основаны на наблюдениях обсерватории ИНТЕГРАЛ, проекте ЕКА с участием Дании, Франции, Германии, Италии, Швейцарии, Испании, Чехии, Польши, России и США.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багановф и др. (F. Baganoff, Y. Maeda, M. Morris, *et al.*), *Astrophys. J.* **591**, 891 (2003).

2. Беланже и др. (G. Belanger, A. Goldwurm, P. Goldoni, *et al.*), *Astron. Astrophys.*, в печати (2003); astro-ph/0311147.
3. Винклер и др. (C. Winkler, T.J.-L. Courvoisier, G. Di Cocco, *et al.*), *Astron. Astrophys.* **411**, 1 (2003).
4. Вуд и др. (K.S. Wood, J.F. Meekins, D.J. Yentis, *et al.*), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **56**, 507 (1984).
5. Голдвурм и др. (A. Goldwurm, P. David, L. Foschini, *et al.*), *Astron. Astrophys.* **411**, 223 (2003).
6. Гребенев и др. (S. Grebenev, A. Lutovinov, and R. Sunyaev), *Astron. Telegram* 192 (2003).
7. Кордые и др. (B. Cordier, A. Goldwurm, P. Laurent, *et al.*), *Adv. Space Res.* **11**, 169 (1991).
8. Лебран и др. (F. Lebrun, J.P. Leray, P. Lavocat, *et al.*), *Astron. Astrophys.* **411**, 141 (2003).
9. Павлинский М.Н., Гребенев С.А., Сюняев Р.А., Письма в Астрон. журн. **18**, 291 (1992).
10. Павлинский и др. (M. Pavlinsky, S. Grebenev, and R. Sunyaev), *Astrophys. J.* **425**, 110 (1994).
11. Скиннер и др. (G.K. Skinner, T.J. Ponman, A.P. Hammersley, and C.J. Eyles), *Astrophys. Space Sci.* **136**, 337 (1987a).
12. Скиннер и др. (G.K. Skinner, A.P. Willmore, C.J. Eyles, *et al.*), *Nature* **330**, 544 (1987b).
13. Сюняев и др. (R.A. Sunyaev, E. Churazov, V. Efremov, *et al.*), *Adv. Space Res.* **10**, 41 (1990).
14. Сюняев и др. (R. Sunyaev, E. Churazov, M. Gilfanov, *et al.*), *Astron. Astrophys.* **247**, 29 (1991).
15. Сюняев и др. (R. Sunyaev, S. Grebenev, A. Lutovinov, *et al.*), *Astron. Telegram* 190 (2003).
16. Убертини и др. (P. Ubertini, A. Bazzano, M. Cocchi, *et al.*), *Astrophys. Lett. Comm.* **38**, 301 (1999).
17. Убертини и др. (P. Ubertini, F. Lebrun, G. Di Cocco, *et al.*), *Astron. Astrophys.* **411**, 131 (2003).
18. Фенимор, Кэннон (E.E. Fenimore and T.M. Cannon), *Appl. Opt.* **17**, 337 (1978).
19. Фенимор, Кэннон (E.E. Fenimore and T.M. Cannon), *Appl. Opt.* **20**, 1858 (1981).
20. Форман и др. (W. Forman, C. Jones, L. Cominsky, *et al.*), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **38**, 357 (1978).
21. Чуразов и др. (E. Churazov, M. Gilfanov, R. Sunyaev, *et al.*), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **92**, 381 (1994).
22. Эйсмонт и др. (N.A. Eismont, A.V. Ditrkh, G. Janin, *et al.*), *Astron. Astrophys.* **411**, 37 (2003).