

## ОПТИЧЕСКОЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ЧЕТЫРЕХ ЖЕСТКИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ ИЗ ОБЗОРОВ НЕБА ОБСЕРВАТОРИИ ИНТЕГРАЛ

© 2019 г. Д. И. Карасев<sup>1\*</sup>, С. Ю. Сазонов<sup>1</sup>, А. Ю. Ткаченко<sup>1</sup>,  
Г. А. Хорунжев<sup>1</sup>, Р. А. Кривонос<sup>1</sup>, П. С. Медведев<sup>1</sup>, И. А. Зазнобин<sup>1</sup>,  
И. А. Мереминский<sup>1</sup>, Р. А. Буренин<sup>1</sup>, М. Н. Павлинский<sup>1</sup>, М. В. Еселевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

Поступила в редакцию 23.10.2019 г.; после доработки 11.11.2019 г.; принята к публикации 11.11.2019 г.

Мы продолжаем исследование, начатое в работе Карасева и др. (2018), и представляем результаты оптического отождествления четырех источников жесткого рентгеновского излучения из обзоров неба обсерватории ИНТЕГРАЛ. Предварительно уточнив положения исследуемых объектов на небе с помощью рентгеновского телескопа ХРТ обсерватории Swift, мы провели идентификацию компаньонов источников с использованием данных оптических и инфракрасных обзоров неба. Затем для предполагаемых компаньонов с помощью Российско-Турецкого телескопа РТТ-150 и телескопа АЗТ-ЗЗИК были получены спектры в оптическом диапазоне. Это позволило установить природу объектов исследования. Оказалось, что источники IGR J11079+7106 и IGR J12171+7047 имеют внегалактическое происхождение и являются сейфертовскими галактиками 1-го и 2-го типа соответственно, причем второй объект характеризуется большой колонкой поглощения на луче зрения. Источник IGR J18165-3912, вероятнее всего, является промежуточным полярным очень высокой светимости. Четвертый источник, IGR J20596+4303, вероятнее всего, является случайной суперпозицией двух объектов — сейфертовской галактики 2-го типа и катаклизмической переменной.

*Ключевые слова:* рентгеновские источники, активные ядра галактик, оптические наблюдения.

DOI: 10.1134/S0320010819120027

### ВВЕДЕНИЕ

Обсерватория ИНТЕГРАЛ (Винклер и др., 2003) уже 17 лет работает на орбите и проводит наблюдения неба в жестком рентгеновском диапазоне энергий (выше 20 кэВ). За это время удалось достичь высокой чувствительности в разных областях неба, включая плоскость Галактики (Ревнивцев и др., 2004, 2006; Мольков и др., 2004; Кривонос и др., 2012; Берд и др., 2016; Кривонос и др., 2017) и ряд внегалактических полей (Гребенев и др., 2013; Мереминский и др., 2016), что позволило открыть несколько сотен новых источников жесткого рентгеновского излучения (см., например, Кривонос и др., 2007, 2012; Берд и др., 2016). Полнота каталога источников, зарегистрированных обсерваторией ИНТЕГРАЛ, весьма высока благодаря масштабным усилиям по их отождествлению в мягком рентгеновском, видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах (см., например, Мазетти и др., 2007,

2010; Томсик и др., 2009, 2016; Малиция и др., 2010).

В настоящей работе мы, используя накопленный ранее опыт (см., например, Бикмаев и др., 2006, 2008; Буренин и др., 2008, 2009; Лутовинов и др., 2010; Карасев и др., 2018), данные обзоров неба в разных диапазонах длин волн, а также дополнительные спектроскопические наблюдения с помощью оптических телескопов РТТ-150 и АЗТ-ЗЗИК, исследовали четыре источника жесткого рентгеновского излучения: IGR J11079+7106, IGR J12171+7047, открытых во время глубокого внегалактического обзора (Мереминский и др., 2016) и IGR J18165-3912, IGR J20596+4303, впервые обнаруженных в обзоре галактической плоскости и ее окрестностей  $|b| < 17^\circ$  (Кривонос и др., 2017).

### ПРИБОРЫ И ДАННЫЕ

Рентгеновские приборы с кодирующей апертурой позволяют определять координаты источников

\*Электронный адрес: dkarasev@iki.rssi.ru

с точностью, как правило, недостаточной для их однозначного оптического отождествления. Поэтому для уточнения локализации объектов исследуемой выборки использовались общедоступные данные наблюдений неба рентгеновским телескопом косоугольного падения XRT космической обсерватории Swift им. Нила Герелса (далее просто обсерватория Swift). Среди исследуемых объектов некоторые были обнаружены впервые и ранее не наблюдались другими обсерваториями. Для улучшения точности локализации и последующей оптической идентификации этих источников нами были дополнительно запрошены наблюдения в мягком рентгеновском диапазоне с помощью рентгеновского телескопа XRT обсерватории Swift.

Заметим, что для всех объектов, исходя из значимости их регистрации, точность определения координат обсерваторией ИНТЕГРАЛ принималась равной  $4.2'$  (на уровне достоверности 95.4%, согласно Кривоносу и др., 2007, 2017). Это достаточно большая неопределенность, и поэтому в ряде случаев мы столкнулись с неоднозначностью в выборе мягкого рентгеновского компаньона жесткого источника. Используемые в работе спектры источников в жестком рентгеновском диапазоне были восстановлены по данным наблюдений обсерватории ИНТЕГРАЛ за  $\sim 14$  лет (с декабря 2002 г. по март 2017 г.) с использованием программного обеспечения (ПО), разработанного в ИКИ РАН (Чуразов и др., 2005, 2014; Кривонос и др., 2010).

Обработка данных телескопа XRT обсерватории Swift была выполнена с помощью соответствующего ПО<sup>1</sup> HEASOFT 6.22<sup>2</sup>. Координаты объектов на изображениях, полученных телескопом XRT/Swift, и точность их локализации определялись с помощью рекомендованных стандартных процедур и алгоритмов<sup>3</sup> (Гoad и др., 2007; Эванс и др., 2009). Аппроксимация рентгеновских спектров источников проводилась с помощью ПО XSPEC.

Приводимые в статье координаты источников в оптическом и ближнем ИК-диапазонах взяты из общедоступных каталогов обзоров неба PanSTARRS<sup>4</sup>, VHS ESO<sup>5</sup> и SkyMapper<sup>6</sup>. Исследование цветов объектов в среднем ИК-диапазоне проводилось по данным из общедоступных каталогов космической обсерватории WISE.

Расстояния до оптических компаньонов части исследуемых объектов были оценены по данным

космической обсерватории Gaia<sup>7</sup>, специальным образом обработанным Байлером-Джонсом и др. (2018) (см. каталог I/347 базы Vizier<sup>8</sup>).

Спектроскопия ряда объектов выборки была проведена на Российско-Турецком 1.5-м телескопе (РТТ-150) с помощью спектрографа среднего и низкого разрешения TFOSC<sup>9</sup>. При этом использовалась гризма N15, дающая наиболее широкий диапазон длин волн (3500–9000 Å) и наибольшую квантовую эффективность. Спектральное разрешение составило примерно  $12 \text{ \AA}$  (полная ширина на полувысоте).

Помимо РТТ-150 для спектроскопии использовался 1.6-м телескоп АЗТ-33ИК Саянской обсерватории (Камус и др., 2002), оснащенный спектрографом АДАМ. При этом использовалась щель  $2$  угл. сек и решетка VPHG600G. Спектральное разрешение прибора составляет  $4.3 \text{ \AA}$  (полная ширина на полувысоте) в диапазоне длин волн 3700–7340 Å (Афанасьев и др., 2016; Буренин и др., 2016).

Обработка результатов всех спектроскопических наблюдений проводилась стандартным образом при помощи ПО IRAF<sup>10</sup> и собственного дополнительного пакета программ. Для расчета фотометрического расстояния до внегалактических источников по их красному смещению  $D_L$  использовалась космологическая модель  $\Lambda$ CDM со следующими параметрами:  $H_0 = 67.8$  и  $\Omega_M = 0.308$  (Коллаборация Planck, 2016).

## ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ

Основные данные об исследуемых в настоящей работе источниках представлены в табл. 1. В ней приведены названия источников, координаты их предполагаемых компаньонов в мягком рентгеновском диапазоне по данным обсерватории Swift, точность локализации, а также потоки в диапазонах энергий 2–10 и 17–60 кэВ.

Ниже приведена подробная информация о свойствах и предполагаемой природе каждого из собранных в табл. 1 объектов.

<sup>1</sup> <http://swift.gsfc.nasa.gov>

<sup>2</sup> <https://heasarc.nasa.gov/lheasoft/>

<sup>3</sup> [http://www.swift.ac.uk/user\\_objects/](http://www.swift.ac.uk/user_objects/)

<sup>4</sup> <https://panstarrs.stsci.edu>

<sup>5</sup> <http://horus.roe.ac.uk/vsa/>

<sup>6</sup> <http://skymapper.anu.edu.au>

<sup>7</sup> <https://sci.esa.int/web/gaia>

<sup>8</sup> <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>

<sup>9</sup> <http://hea.iki.rssi.ru/rtt150/ru/index.php?page=tfosc>

<sup>10</sup> <http://iraf.noao.edu>

**Таблица 1.** Компаньоны исследуемых источников в мягком рентгеновском диапазоне

Название	RA (J2000)	Dec (J2000)	Точность локализации (90%), угл. сек	Поток (2–10 кэВ) $\times 10^{-12}$ эрг с <sup>-1</sup> см <sup>-2</sup>	Поток (17–60 кэВ)** $\times 10^{-11}$ эрг с <sup>-1</sup> см <sup>-2</sup>	Примечания
IGR J11079+7106	11 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup> 47 <sup>s</sup> .95	+71°05′31″.4	1.6	2.26 ± 0.31	0.72 ± 0.10	Swift J1107.8+7107
IGR J12171+7047	12 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup> 26 <sup>s</sup> .23	+70°48′05″.4	4.5	0.12 ± 0.04	1.00 ± 0.15	NGC 4250
IGR J18165–3912*	18 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup> .95	–39°12′43″.9	2.9	1.56 ± 0.23	0.61 ± 0.09	
IGR J20596+4303					0.57 ± 0.08	
	21 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup> .96	+43°02′09″.6	2.2	1.25 ± 0.20		1SXPS J210000.9+430208
	20 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup> .76	+43°01′06″.1	2.1	3.13 ± 0.17		1SXPS J205915.6+430105

\* По данным наблюдений XRT/Swift, запрошенных нашей группой.

\*\* По данным обсерватории ИНТЕГРАЛ (Мереминский и др., 2016; Кривонос и др., 2017).

### IGR J11079+7106

В область локализации телескопа IBIS обсерватории ИНТЕГРАЛ по данным архива обсерватории Swift попадает только один мягкий рентгеновский источник — Swift J1107.8+7107 (Эванс и др., 2014). Он был локализован с высокой точностью (см. табл. 1) по данным телескопа XRT/Swift.

Мы получили по данным телескопа XRT рентгеновский спектр источника Swift J1107.8+7107 и объединили его со спектром жесткого источника IGR J11079+7106, полученным телескопом IBIS/ИНТЕГРАЛ (рис. 1). Оказалось, что потоки источников в мягком и жестком рентгеновских диапазонах хорошо согласуются между собой, а полученный широкополосный спектр может быть аппроксимирован ( $\chi^2 = 0.65$  на степень свободы для 16 степеней свободы) степенным законом с наклоном (фотонным индексом)  $1.70 \pm 0.05$  (рис. 1). Такая спектральная модель характерна, в первую очередь, для активных ядер галактик (АЯГ).

Используя точную локализацию предполагаемого мягкого рентгеновского компаньона и данные обзора неба PanSTARRS нам удалось определить компаньон источника в оптическом диапазоне (рис. 1). Это протяженный объект с видимой звездной величиной  $r \simeq 17.0$ . Мы провели его спектроскопию на телескопе РТТ-150 обсерватории Тубитак. В полученном спектре (рис. 1) хорошо видны широкая ( $\text{FWHM} = 3272$  км/с с учетом поправки за спектральное разрешение прибора), смещенная в красную сторону эмиссионная линия  $H\alpha$ , а также ряд других характерных эмиссионных линий (в частности, [OIII] и [SII]), которые однозначно указывают на то, что исследуемый объект является

АЯГ типа Сейферт 1 на красном смещении  $z = 0.059 \pm 0.001$  ( $D_L \simeq 272.6$  Мпк).

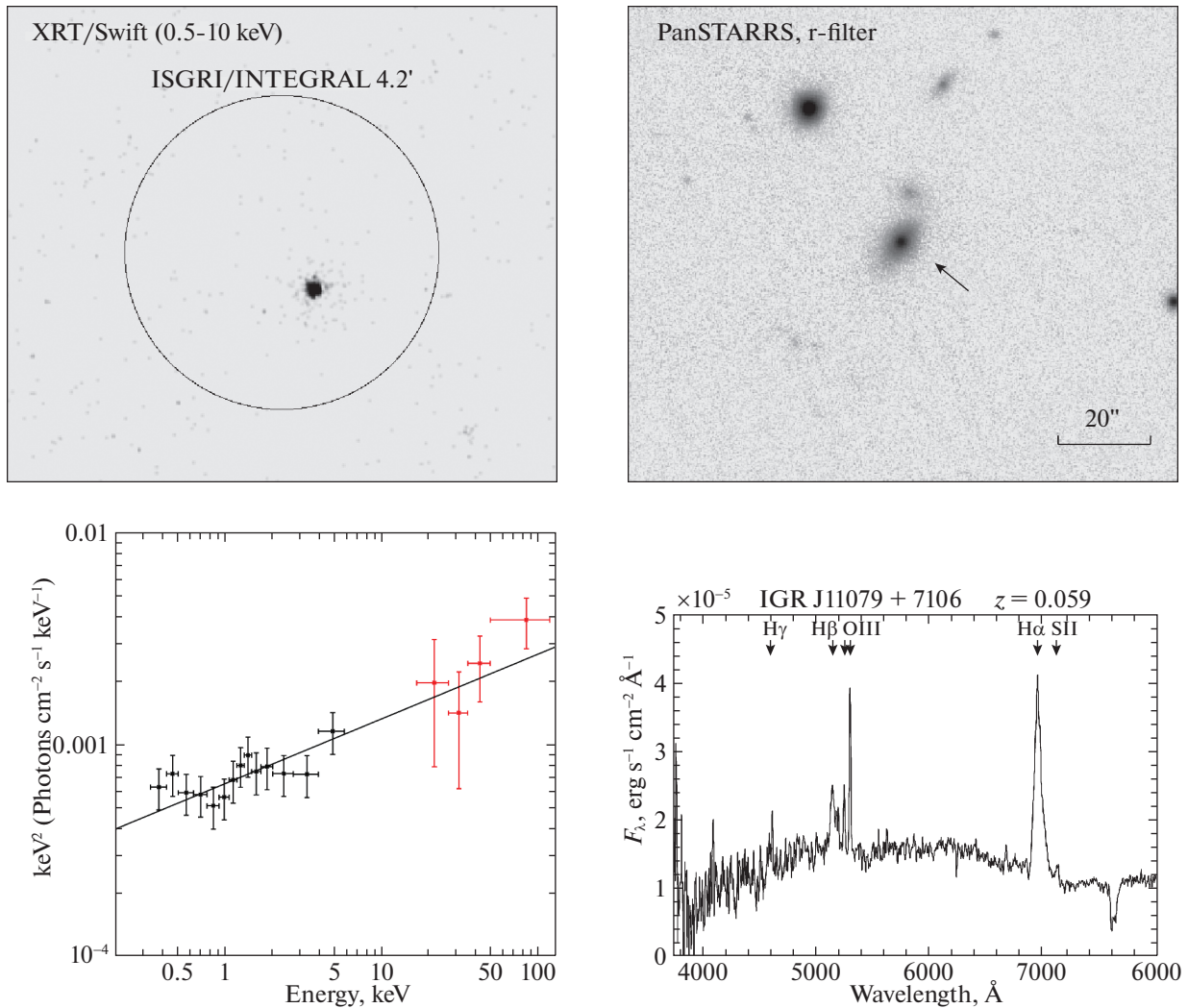
Отметим, что источник Swift J1107.8+7107 ранее исследовался в работе Стефена и др. (2018). Однако положение рентгеновского объекта было определено со значительно меньшей точностью ( $\sim 10''$ ) и отличается от приведенного в настоящей работе на  $\approx 7.5''$ . Тем не менее авторам удалось правильно установить оптический компаньон и получить грубую оценку его красного смещения ( $\approx 0.06$ ). Однако в работе Стефена и др. 2018 не были сделаны выводы о типе активного ядра.

Полученная новая информация об оптических и рентгеновских (светимость в мягком и жестком рентгеновском диапазонах) свойствах источника IGR J11079+7106 и остальных объектов, рассматриваемых ниже, приведена в табл. 2.

### IGR J12171+7047

В область локализации телескопа IBIS обсерватории ИНТЕГРАЛ попадает яркая ( $r \simeq 12.61$  по данным PanSTARRS) галактика NGC 4250 (рис. 2), которую мы рассматриваем в качестве наиболее вероятного источника жесткого рентгеновского излучения. Более того, телескоп XRT/Swift ранее уже регистрировал от нее мягкое рентгеновское излучение. В каталоге источников обсерватории Swift этот объект обозначен как Swift J1217.6+7047 (Эванс и др., 2014).

Мы провели спектроскопию объекта на телескопе РТТ-150. В спектре излучения центральной

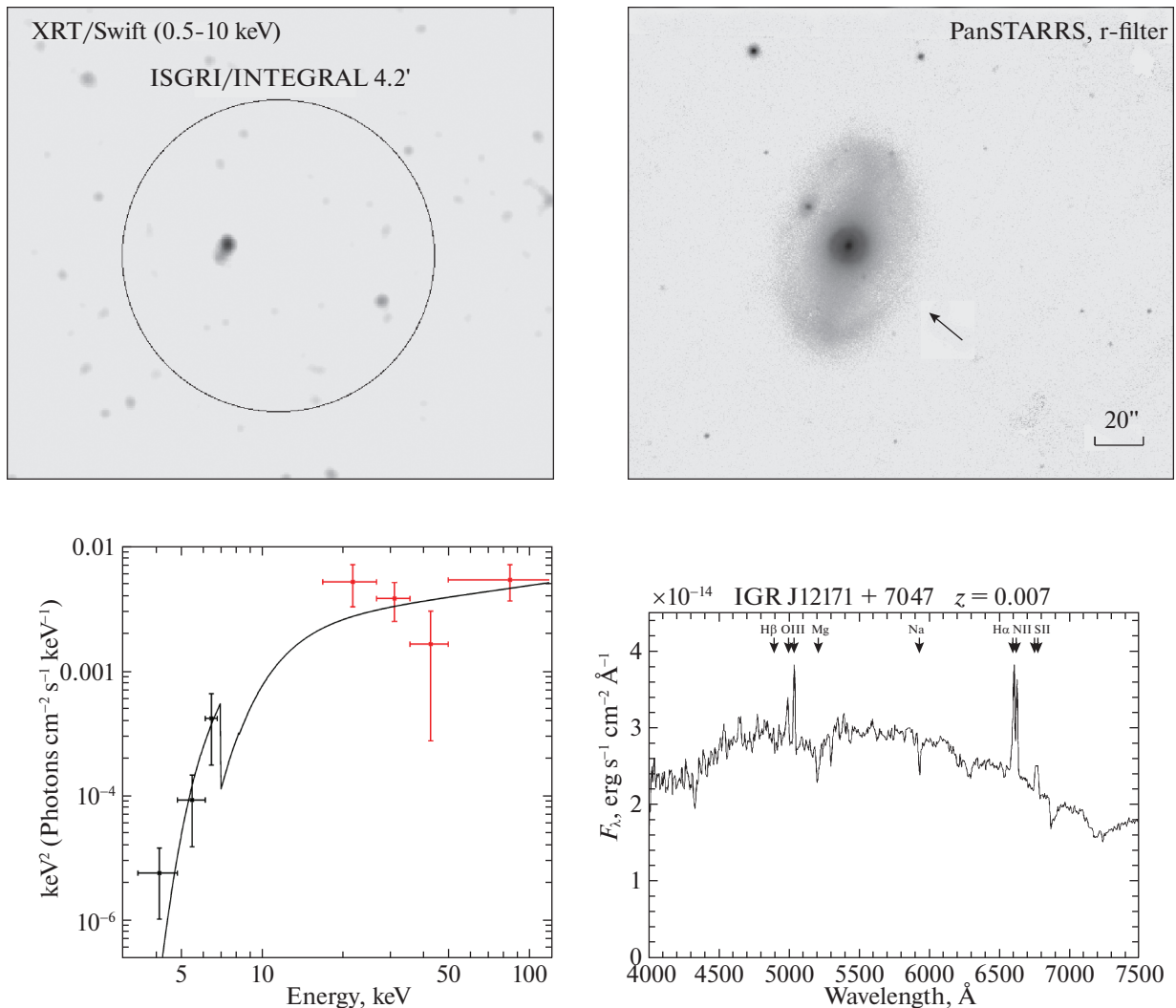


**Рис. 1.** Верхний ряд: Изображения области неба, содержащей источник IGR J11079+7106, полученные по данным телескопа XRT/Swift (слева) и в обзоре неба PanSTARRS в фильтре  $r$  (справа). На левом рисунке сплошным кругом показана область локализации источника по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ. Стрелкой отмечен предполагаемый оптический компаньон исследуемого источника. Нижний ряд (слева): Широкополосный рентгеновский спектр источника по данным телескопов XRT/Swift (черные точки на энергиях ниже 10 кэВ) и IBIS/ИНТЕГРАЛ (красные точки на энергиях выше 10 кэВ). Сплошной линией показана аппроксимация спектра степенным законом. Нижний ряд (справа): Оптический спектр источника, полученный на телескопе RTT-150. Отмечены наиболее значимые эмиссионные линии.

части галактики хорошо различимы узкие, смещенные в красную сторону линии  $H\alpha$  ( $FWHM = 539$  км/с, полностью определяется разрешением прибора),  $[NII]$ ,  $[SII]$  и  $[OIII]$  (рис. 2). Измеренное красное смещение составляет  $z = 0.007 \pm 0.001$ , а соответствующее фотометрическое расстояние —  $D_L = 31.8$  Мпк. Это хорошо согласуется с предыдущими оценками  $D = 31\text{--}35$  Мпк (база данных внегалактических объектов NED). Полученный спектр обнаруживает сходство как со спектрами сейфертовских галактик 2-го типа, так и со спектрами галактик типа LINER. Чтобы определиться с истинным классом объекта, мы оценили отношения потоков в линиях:  $[NII]/H\alpha = 1.27$ ,  $[SII]/H\alpha = 0.88$ , нижний предел

$[OIII]/H\beta > 2.7$ , и воспользовались хорошо известной ВРТ-диаграммой (Балдуина и др., 1981; Кьюли и др., 2006). Полученные значения соответствуют переходной области между галактиками типа LINER и сейфертовскими галактиками 2-го типа. Однако поскольку линия  $H\beta$  в спектре источника значимо не регистрируется и для отношения  $[OIII]/H\beta$  получен только нижний предел, то более вероятно, что исследуемый объект является сейфертовской галактикой 2-го типа.

Совокупный рентгеновский спектр источника IGR J12171+7047 и его предполагаемого компаньона Swift J1217.6+7047 хорошо аппроксимируется ( $\chi^2 = 1.2$  на степень свободы для пяти степеней свободы) степенным законом с завалом



**Рис. 2.** Верхний ряд: изображения области неба в окрестности источника IGR J12171+7047 по данным телескопа XRT/Swift (слева) и обзора PanSTARRS (справа). На левом рисунке сплошным кругом показана область локализации источника по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ. Стрелкой на правом — отмечен предполагаемый источник жесткого рентгеновского излучения близкая галактика NGC 4250. Нижний ряд: (слева) широкополосный рентгеновский спектр источника по данным телескопов XRT/Swift и IBIS/ИНТЕГРАЛ. Сплошной линией показана аппроксимация спектра степенным законом с поглощением; (справа) оптический спектр источника, полученный с помощью телескопа РТТ-150. Отмечены наиболее значимые спектральные линии.

на низких энергиях из-за фотопоглощения. При этом наклон равен  $\Gamma \simeq 1.8$ , а колонка поглощения  $N_H \simeq 10^{24} \text{ см}^{-2}$ . С учетом расстояния до объекта (см. выше) светимость источника в жестком рентгеновском диапазоне оказывается  $\sim 10^{42} \text{ эрг с}^{-1}$  (табл. 2). Все это свидетельствует о том, что мы имеем дело с сейфертовской галактикой 2-го типа с большой колонкой поглощения на луче зрения.

### *IGR J18165–3912*

Для уточнения локализации объекта нами были запрошены наблюдения телескопа XRT/Swift (ObsID: 00011480001, проведены 16 июля 2019 г.),

по результатам которых удалось определить компаньон источника в мягком рентгеновском диапазоне (рис. 3) и измерить его рентгеновский поток (табл. 1). Установив точное положение рентгеновского источника, мы смогли отождествить его в оптическом и близком ИК-диапазонах, используя данные обзоров SkyMapper ( $r = 17.829 \pm 0.053$ ) и VHS (телескоп VISTA) Европейской южной обсерватории (ESO). Кроме того, объект регистрируется в астрометрическом обзоре всего неба обсерватории Gaia и, согласно оценкам, основанным на работе Байлера-Джонса и др. (2018), расстояние до него составляет  $6869^{+4300}_{-2763}$  пк. Таким образом, он имеет галактическую природу.

Таблица 2. Оптические и ИК-компаньоны жестких рентгеновских источников

Название	RA (J2000)	Dec (J2000)	Красное смещение/Расстояние	log L <sub>2–10</sub>	log L <sub>17–60</sub>	r (PanSTARRS)	Класс объекта	Примечания
IGR J11079+7106	11 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup> 47 <sup>s</sup> .86	71° 05' 32".44	0.059/272.6 Мпк	43.30 <sup>+0.08</sup> <sub>-0.08</sub>	43.81 <sup>+0.04</sup> <sub>-0.04</sub>	16.97 ± 0.01	Сейферт 1	2MASX J11074777+7105326
IGR J12171+7047	12 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup> 26 <sup>s</sup> .22	+70° 48' 09".00	0.007/31.6 Мпк	40.16 <sup>+0.15</sup> <sub>-0.15</sub>	42.08 <sup>+0.06</sup> <sub>-0.06</sub>	≈ 12.61	Сейферт 2	NGC 4250
IGR J18165-3912	18 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup> .941	-39° 12' 46".21	0/6.9 <sup>+4.3</sup> <sub>-2.8</sub> кпк	33.94 <sup>+0.44</sup> <sub>-0.51</sub>	34.54 <sup>+0.44</sup> <sub>-0.47</sub>	17.83 ± 0.05	КП	2MASS J18163594-3912464
IGR J20596+4303 <sub>1</sub>	21 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 01 <sup>s</sup> .00	+43° 02' 10".97	0.0656/304.6 Мпк	43.14 <sup>+0.08</sup> <sub>-0.09</sub>	<43.80*	20.37 ± 0.06	Сейферт 2	WISE J210000.99+430210.9
-2	20 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup> .70	+43° 01' 07".27	0/2.1 <sup>+0.7</sup> <sub>-0.4</sub> кпк	33.21 <sup>+0.27</sup> <sub>-0.23</sub>	<33.47*	17.53 ± 0.09	КП	UGPS J205915.69+430107.2

\* Предположительно поток источника в диапазоне 17–60 кэВ является суперпозицией потоков двух источников SWIFT J2059.6+4301A и SWIFT J2059.6+4301B. Однако, принимая во внимание возможную переменность источников, достаточно сложно оценить вклад каждого из них в результирующий поток.

Используя данные обзора VHS, мы построили диаграмму цвет — видимая величина для всех звезд в окрестности 1' от исследуемого объекта (рис. 3). Видно, что ИК-компаньон источника лежит несколько в стороне от основной группы звезд, что характерно для двойных звездных систем с аккреционными дисками (а также для АЯГ). Поправленный за покраснение (согласно данным каталога VHS  $E(J - K_s) \approx 0.05$ ) цвет объекта  $(J - K_s) = 1.42 \pm 0.01$ , что примерно соответствует цвету звезд спектрального класса M7 и позднее (Вегнер, 2014). Абсолютная величина ИК-компаньона IGR J18165–3912, с учетом поглощения и точности определения расстояния обсерваторией Gaia, находится в диапазоне  $M_{K_s} = -1.29 \div 1.03$ . Для сравнения, для красного M7-гиганта —  $M_{K_s, M7III} = -7.08 \pm \pm 0.73$  (Вегнер, 2007, 2014), а для звезды M7 главной последовательности —  $M_{K_s, M7V} = 4.24 \pm \pm 0.49$ . Таким образом, вероятно, мы имеем с излучением аккреционного диска около компактного объекта в маломассивной рентгеновской двойной системе или катаклизмической переменной (КП).

Спектральные данные, полученные (в разное время) в мягком и жестком рентгеновском диапазоне энергий телескопами XRT/Swift и IBIS/ИНТЕГРАЛ, плохо согласуются между собой (рис. 3), что может говорить о сильной переменности рентгеновского излучения источника. Принимая это предположение, широкополосный спектр источника может быть описан, например, моделью тормозного излучения плазмы с температурой  $kT = 19.1 \pm 5.9$  кэВ ( $\chi^2 = 0.52$  на степень свободы для 10 степеней свободы); при этом требуется ввести поправочный множитель 9.1 для данных XRT/Swift. Такая форма спектра характерна для рентгеновского излучения аккреционных колонок на полюсах замагниченного белого карлика в КП (полярах и промежуточных полярах, Хейли и др., 2016).

Если IGR J18165–3912 является маломассивной рентгеновской двойной системой, то можно оценить ее орбитальный период на основе полуэмпирического соотношения из работы Ревнивцева и др. (2012). Эта формула связывает между собой орбитальный период и светимости системы в рентгеновском (2–10 кэВ) и ближнем ИК-диапазонах. Принимая во внимание сильную переменность IGR J18165–3912 и неопределенность в расстоянии, находим, что его орбитальный период должен составлять 13.7–4400 дней, что совершенно не характерно для маломассивных рентгеновских двойных систем (типичный диапазон от 0.01–10 дней (Ибен и др., 1997; Ян и др., 2010).

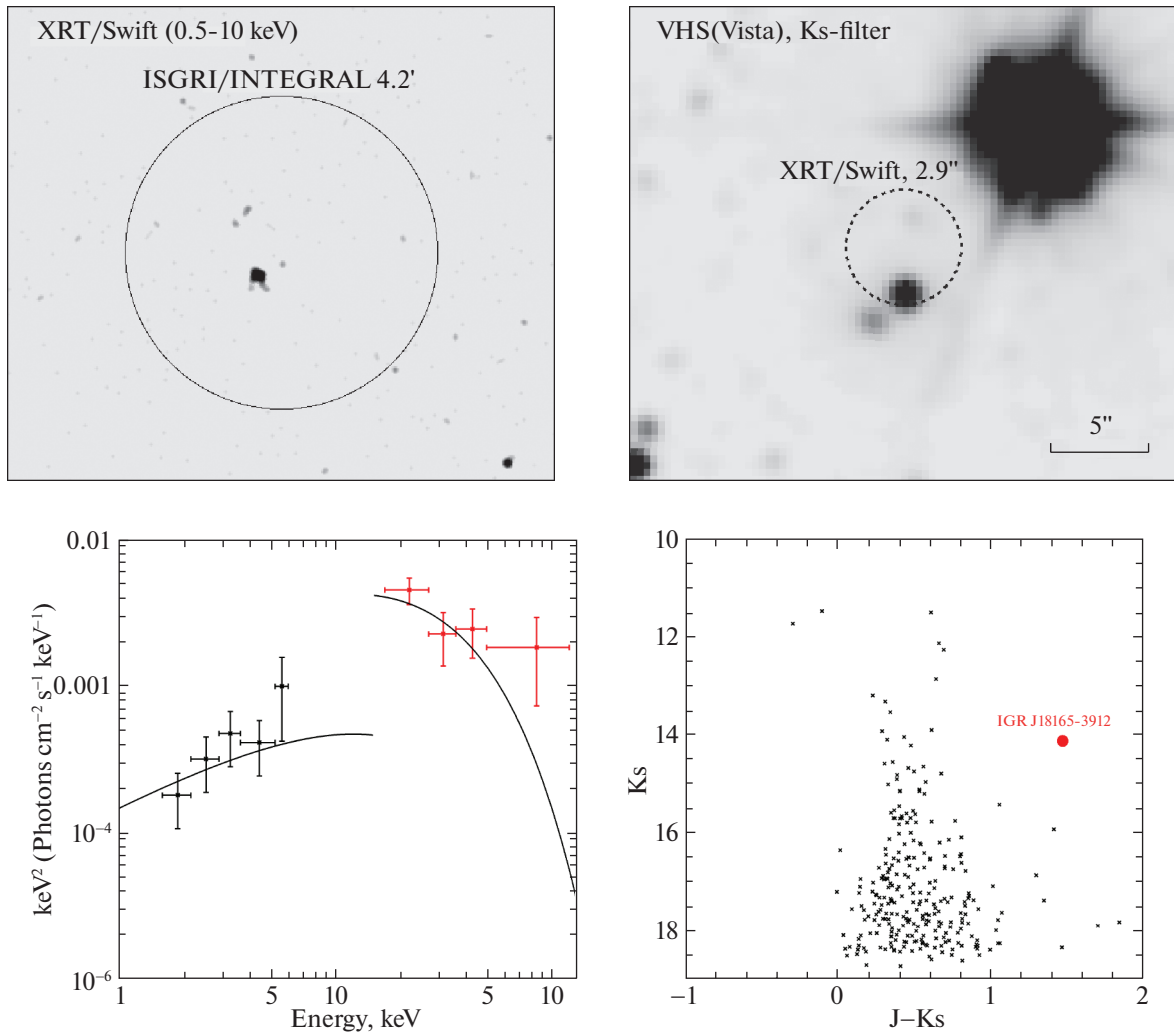
По совокупности имеющихся данных мы приходим к выводу, что IGR J18165–3912, скорее всего, является промежуточным полярком — КП, в которой вещество со звезды-компаньона сначала попадает в аккреционный диск, а затем на магнитные полюса белого карлика. В пользу этой гипотезы, в частности, свидетельствуют высокая рентгеновская светимость объекта ( $\sim 10^{34} - 10^{35}$  эрг/с с учетом большой неопределенности в расстоянии, см. табл. 2). Более того, IGR J18165–3912 является одной из самых мощных в рентгене КП, открытых до сих пор (Приториус, Мукай, 2014).

### IGR J20596+4303

По данным обсерватории Swift, в ближайшей окрестности исследуемого объекта находятся два рентгеновских источника (рис. 4), известных как SWIFT J2059.6+4301A/1SXPS J205915.6+430105<sup>11</sup> и SWIFT J2059.6+4301B/1SXPS J210000.9+430208<sup>12</sup> (Баумгартнер и др., 2013). Источник SWIFT J2059.6+4301B расположен

<sup>11</sup> <https://swift.gsfc.nasa.gov/results/bs105mon/1095>

<sup>12</sup> [https://swift.gsfc.nasa.gov/results/bs70mon/SWIFT\\_J2059.6p4301B](https://swift.gsfc.nasa.gov/results/bs70mon/SWIFT_J2059.6p4301B)



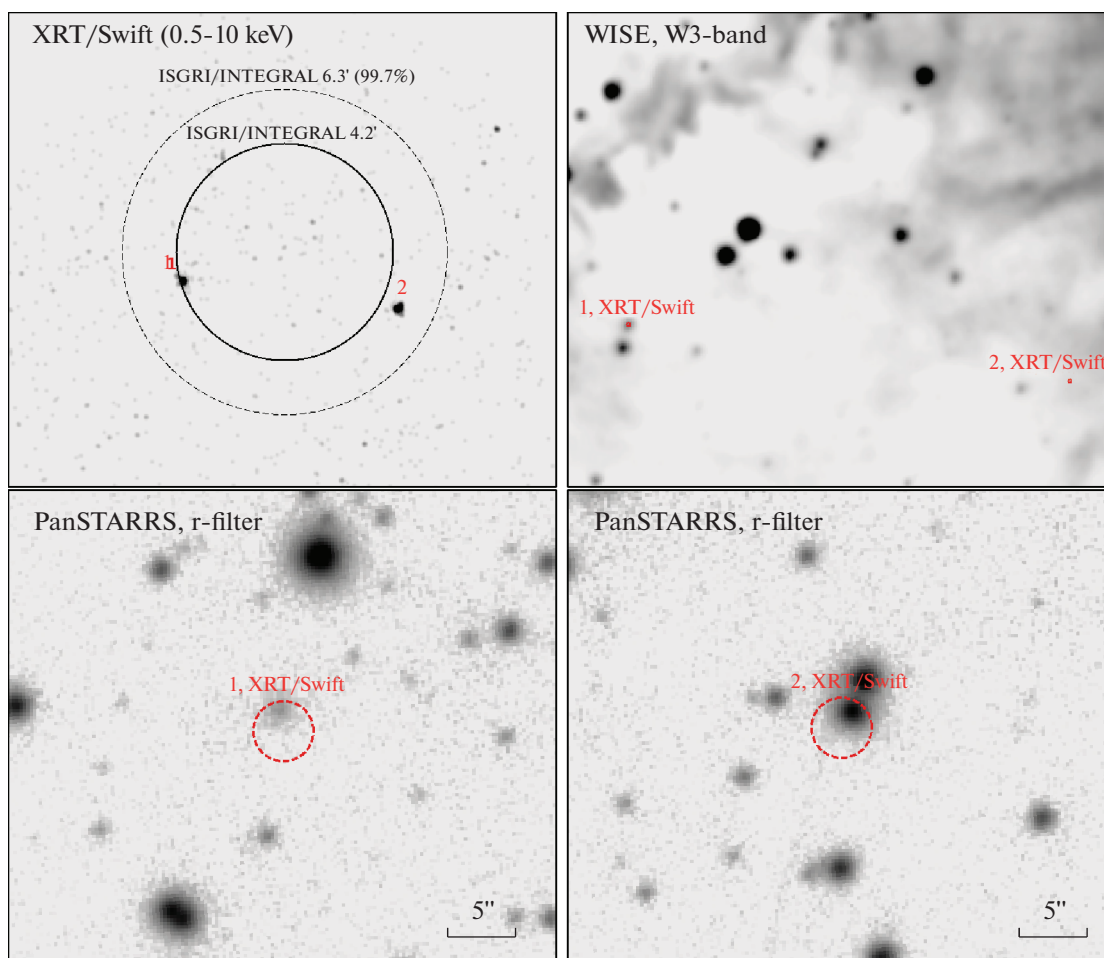
**Рис. 3.** Верхний ряд: изображения области неба в окрестности источника IGR J18165–3912 по данным телескопа XRT/Swift (слева) и телескопа VISTA (справа). Сплошным кругом на левом рисунке показана область локализации источника по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ. Пунктирным кругом на правом — отмечена точность локализации мягкого рентгеновского компаньона источника телескопом XRT/Swift. Нижний ряд: широкополосный рентгеновский спектр источника IGR J18165–3912 по данным телескопов XRT/Swift и IBIS/ИНТЕГРАЛ. Линиями показана модель тормозного излучения с температурой плазмы  $kT = 19.1$  кэВ, наилучшим образом описывающая экспериментальные точки с различными нормировками для мягкой и жесткой частей спектра. Диаграмма цвет–видимая величина, построенная по данным обзора неба VHS для всех звезд в  $1'$  окрестности IGR J18165–3912. Отмечено положение ИК-компаньона источника.

несколько ближе ( $4.1'$ ) к положению, измеренному телескопом IBIS/ИНТЕГРАЛ, попадая в  $2\sigma$ -область локализации. SWIFT J2059.6+4301A находится в  $4.7'$  от IGR J20596+4303 и попадает в  $3\sigma$ -область локализации радиусом  $6.3'$ .

Точная локализация источника SWIFT J2059.6+4301B по данным телескопа XRT (табл. 2) позволяет однозначно определить его оптический компаньон. Это объект с величинами  $r \simeq 20.37$ ,  $W1 = 12.63 \pm 0.03$  в оптике/ИК (по данным PanSTARRS и WISE соответственно), с ИК-цветами ( $W1 - W2 \approx 0.73$ ) характерными для АЯГ (Штерн и др., 2012). Ранее этот объект уже отмечался как кандидат в АЯГ (Эдельсон и

др., 2012). Полученный нами на телескопе АЗТ-ЗЗИК спектр показывает, что это сейфертовская галактика второго типа ( $FWHM_{H\alpha} = 546.6$  км/с, полностью определяется разрешением прибора) на красном смещении  $z = 0.0656 \pm 0.0010$  (рис. 5 слева).

Жесткий рентгеновский поток, измеренный прибором IBIS обсерватории ИНТЕГРАЛ, оказывается на порядок выше потока мягкого рентгеновского излучения от источника SWIFT J2059.6+4301B (рис. 5). Если приписать это различие переменности объекта, то совокупный спектр пары IGR J20596+4303/SWIFT J2059.6+4301B удастся описать ( $\chi^2 = 0.31$  на степень свободы для



**Рис. 4.** Изображения области неба в окрестности источника IGR J20596+4303 по данным телескопа XRT/Swift, телескопа WISE и обзора PanSTARRS. Сплошным и пунктирным кругами показаны области локализации источника по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ на уровне достоверности 95.4% и 99.7% соответственно. Числами 1 и 2 отмечены возможные компаньоны источника в мягком рентгеновском диапазоне и соответствующие им объекты в оптическом и ИК-диапазонах. Пунктирные окружности отражают точность локализации мягких рентгеновских объектов телескопом XRT/Swift.

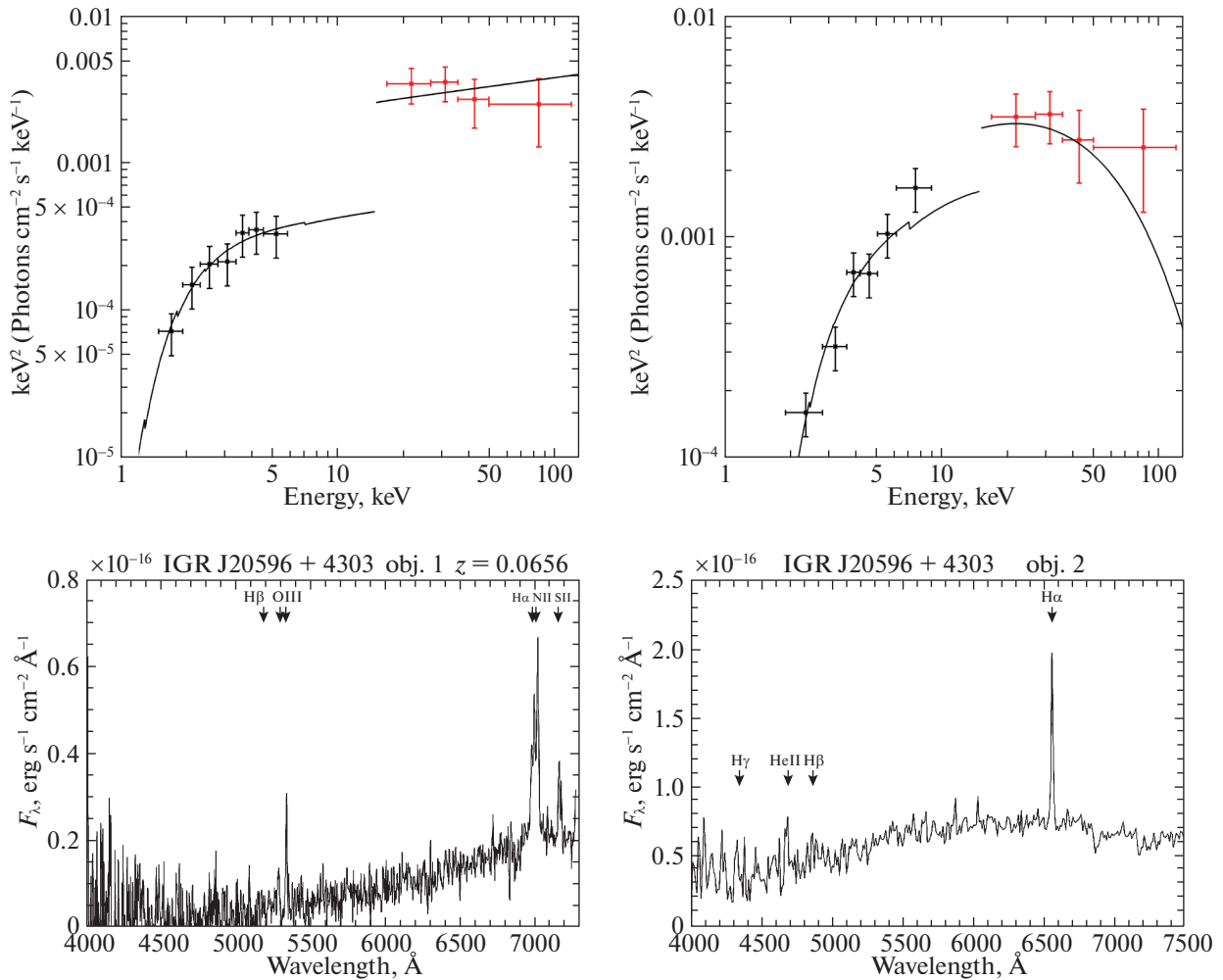
8 степеней свободы) степенным законом ( $\Gamma \simeq 1.8$ ) с поглощением  $N_H = 2.6 \pm 0.7 \times 10^{22} \text{ см}^{-2}$ , что является обычными значениями для сейфертовских галактик 2-го типа. При этом требуется введение дополнительного нормировочного множителя 5.6 для данных XRT/Swift.

Что касается другого возможного рентгеновского компаньона — SWIFT J2059.6+4301A, то, по данным оптических и ИК-обзоров, в область локализации этого источника попадает довольно яркий оптический объект ( $r \simeq 17.53$ ), ИК цвета которого ( $W1-W2 \sim 0$ ) указывают на его звездную природу. Расстояние до объекта составляет  $2068^{+692}_{-432}$  пк по данным обсерватории Gaia (Байлер-Джонс и др., 2018). В полученном на телескопе РТТ-150 спектре выделяется несмещенная узкая эмиссионная линия  $H\alpha$  (рис. 5 справа), указывающая на излучение аккреционного диска в двойной системе (например, КП).

Совокупный спектр излучения пары IGR J20596+4303/SWIFT J2059.6+4301A может быть описан ( $\chi^2 = 0.81$  на степень свободы для шести степеней свободы) моделью тормозного излучения с температурой плазмы  $kT = 33 \pm 15$  кэВ и поглощением  $N_H = 5.19 \pm 1.24 \times 10^{22} \text{ см}^{-2}$ , характерной для магнитных КП. Однако при этом требуется ввести дополнительный нормировочный коэффициент для данных XRT/Swift, т.е. опять допустить сильную переменность объекта. Измеренная высокая рентгеновская светимость источника (табл. 2)  $\gtrsim 10^{33} \text{ эрг с}^{-1}$  позволяет предположить, что это промежуточный поляр.

Принимая во внимание вышесказанное, жесткий рентгеновский источник IGR J20596+4303, по-видимому, является суперпозицией обоих рассмотренных объектов, SWIFT J2059.6+4301A и SWIFT J2059.6+4301B, первый из которых является КП, а второй АЯГ. Чтобы лучше про-





**Рис. 5.** Верхний ряд: рентгеновские спектры предполагаемых мягких рентгеновских компаньонов источника IGR J20596+4303 (черные точки, слева — SWIFT J2059.6+4301B/1SXPS J210000.9+430208, справа — SWIFT J2059.6+4301A/1SXPS J205915.6+430105), скомбинированные со спектром объекта в жестком рентгеновском диапазоне, полученным по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ (красные точки). Линиями показаны модели, наилучшим образом описывающая эти точки (см. текст). Нижний ряд: соответствующие оптические спектры предполагаемых компаньонов, полученные с помощью телескопов: АЗТ-33ИК (SWIFT J2059.6+4301B — слева) и РТТ-150 (SWIFT J2059.6+4301A — справа). Отмечены наиболее значимые спектральные линии.

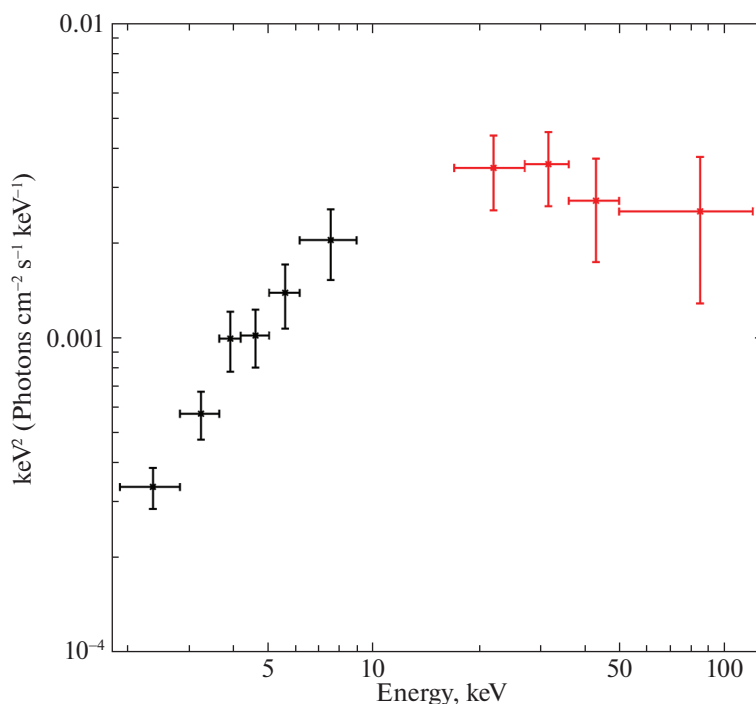
демонстрировать это, мы построили суммарный спектр мягкого рентгеновского излучения источников SWIFT J2059.6+4301A и SWIFT J2059.6+4301B по данным XRT/Swift и сравнили его со спектром IGR J20596+4303, измеренным обсерваторией ИНТЕГРАЛ на более высоких энергиях (рис. 6).

Также отметим, что результаты, полученные нами по отдельности для источников SWIFT J2059.6+4301A и SWIFT J2059.6+4301B, хорошо согласуются с результатами, представленными в работе Марчесини и др. (2019).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведено оптическое отождествление четырех жестких рентгеновских источников,

впервые обнаруженных во время глубокого внегалактического обзора (Мереминский и др., 2016) и расширенного обзора галактической плоскости ( $|b| < 17^\circ$ , Кривonos и др., 2017) с помощью обсерватории ИНТЕГРАЛ. Показано, что два из них (IGR J11079+7106, IGR J12171+7047) являются близкими сейфертовскими галактиками (1-го и 2-го типа соответственно). Для них были измерены красные смещения. Причем объект IGR J12171+7047 характеризуется большой колонкой поглощения ( $N_H \simeq 10^{24} \text{ см}^{-2}$ ) на луче зрения. Третий объект (IGR J18165–3912), по всей видимости, является катаклизмической переменной (промежуточным полярном) очень большой светимости ( $\gtrsim 10^{34} \text{ эрг с}^{-1}$ ). Наконец, четвертый объект (IGR J20596+4303), вероятнее всего, явля-



**Рис. 6.** Суммарный рентгеновский спектр двух предполагаемых мягких рентгеновских компаньонов источника IGR J20596+4303 (SWIFT J2059.6+4301B/1SXPS J210000.9+430208 плюс SWIFT J2059.6+4301A/1SXPS J205915.6+430105, черные точки), скombинированный со спектром объекта в жестком рентгеновском диапазоне, полученным по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ (красные точки).

ется суперпозицией двух рентгеновских источников сравнимой яркости, один из которых является сейфертовской галактикой 2-го типа, а второй — катаклизмической переменной (скорее всего, промежуточным поляром).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 19-12-00396. Авторы благодарят Государственную обсерваторию ТУБИТАК (ТУГ, Турция), Институт космических исследований РАН и Казанский государственный университет за поддержку в использовании Российско-Турецкого 1.5-м телескопа (РТТ-150). Результаты на телескопе АЗТ-33ИК получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования “Ангара” <http://ckp-rg.ru/ckp/3056/> в рамках базового финансирования программы ФНИ И.16.

В работе использованы данные обзора VHS, полученные с помощью телескопа VISTA/ESO (обсерватория Паранал) по программе 179.A-2010 (PI: McMahon). Настоящая публикация также использует данные обсерватории WISE, которая является совместным проектом Калифорнийского университета, Лос-Анджелеса и Лаборатории реактивного движения / Калифорнийского технологического института, финансируемого Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. Афанасьев, С. Додонов, В. Амирханян, А. Моисеев, *Астрофизич. Бюлл.* **71**, 514 (2016).
2. Байлер-Джонс и др. (C.A.L. Bailer-Jones, J. Rybizki, M. Fouesneau, G. Mantelet, R. Andrae), *Astrophys. J. Lett.* **156**, 58B (2018).
3. Балдвин и др. (J.A. Baldwin, M.M. Phillips, and R. Terlevich), *Astron. Soc. Pacific Publ.* **93**, 5 (1981).
4. Баумгартнер и др. (W.H. Baumgartner, J. Tueller, C.B. Markwardt, G.K. Skinner, S. Barthelmy, et al), *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **207**, 19 (2013).
5. Берд и др. 2016 (A.J. Bird, A. Bazzano, A. Malizia, M. Flocchi, V. Sguera, L. Bassani, A.B. Hill, P. Ubertini, C. Winkler), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **223**, 10 (2016).
6. Бикмаев И., Ревнивцев М., Буренин Р., Сюняев Р., Письма в *Астрон. журн.* **32**, 655 (2006) [I.F. Bikmaev et al., *Astron. Lett.* **32**, 588 (2006)].
7. Бикмаев И., Буренин Р., Ревнивцев М., и др., Письма в *Астрон. журн.* **34**, 723 (2008) [I.F. Bikmaev et al., *Astron. Lett.* **34**, 653 (2008)].
8. Буренин Р., Мешеряков А., Ревнивцев М., и др., Письма в *Астрон. журн.* **34**, 367 (2008) [R.A. Burenin et al., *Astron. Lett.* **34**, 367 (2008)].
9. Буренин Р., Бикмаев И., Ревнивцев М., и др., Письма в *Астрон. журн.* **35**, 83 (2009) [R.A. Burenin et al., *Astron. Lett.* **35**, 71 (2009)].
10. Р.А. Буренин, А.Л. Амвросов, М.В. Еселевич, В.М. Григорьев, В.А. Арефьев, В.С. Воробьев и др., Письма в *Астрон. журн.* **42**, 333 (2016) [R. A. Burenin et al., *Astron. Lett.* **42**, 240 (2016)].

11. Вегнер (W. Wegner), *MNRAS* **374**, 1549 (2007).
12. Вегнер (W. Wegner), *Acta Astron.* **64**, 261 (2014).
13. Винклер и др. (C. Winkler, T.J.-L. Courvoisier, G. Di Cocco, N. Gehrels, A. Gimenez, S. Grebenev, W. Hermsen, J.M. Mas-Hesse, et al), *Astron. Astrophys.* **411**, L1 (2003).
14. Гoad и др. (M.R. Goad, L.G. Tyler, A.P. Beardmore, P.A. Evans, S.R. Rosen, J.P. Osborne, R.L.C. Starling, F.E. Marshall, et al), *Astron. Astrophys.* **476**, 1401 (2007).
15. Гребенев др. (S.A. Grebenev, A.A. Lutovinov, S.S. Tsygankov, I.A. Mereminskiy), *MNRAS* **428**, 50 (2013).
16. Камус С.Ф., Тергоев В.И., Папушев П.Г., Дружинин С.А., Караваев Ю.С., Палачев Ю.М., Денисенко С.А., Липин Н.А., *Оптический журн.* **69**, 84 (2002) [S.F. Kamus, S.A. Denisenko, N.A. Lipin, V.I. Tergoev, P.G. Papushev, S.A. Druzhinin, Yu.S. Karavaev, Yu.M. Palachev, *J. Optical Technology* **69**, 674 (2002)].
17. Ибен и др. (I. Iben Jr., A.V. Tutukov, A.V. Fedorova), *Astrophys. J.* **486**, 955 (1997).
18. Карасев и др. (D.I. Karasev, A.A. Lutovinov, R.A. Burenin), *MNRAS Lett.* **409**, L69 (2010).
19. Карасев Д.И., Лутовинов А.А., Ткаченко А.Ю., Хорунжев Г.А., Кривonos Р.А. и др.), *Письма в Астрон. журн.* **44**, 569 (2018) [D.I. Karasev et al., *Astron. Lett.* **44**, 522 (2018)].
20. Коллаборация Planck (Planck Collaboration), *Astron. Astrophys.* **594**, 63 (2016).
21. Кривonos и др. (R. Krivonos, M. Revnivitsev, A. Lutovinov, S. Sazonov, E. Churazov, R. Sunyaev), *Astron. Astrophys.* **475**, 775 (2007).
22. Кривonos и др. (R. Krivonos, M. Revnivitsev, S. Tsygankov, et al.), *Astron. Astrophys.* **519**, A107 (2010).
23. Кривonos и др. (R. Krivonos, S. Tsygankov, A. Lutovinov, M. Revnivitsev, E. Churazov, R. Sunyaev), *Astron. Astrophys.* **545**, 7 (2012).
24. Кривonos и др. (R. Krivonos, S. Tsygankov, I. Mereminskiy, A. Lutovinov, S. Sazonov, R. Sunyaev), *MNRAS* **470**, 512 (2017).
25. Кьюли и др. (L.J. Kewley, B. Groves, G. Kauffmann, and T. Heckman), *MNRAS* **372**, 961 (2006).
26. Лутовинов и др. (A. Lutovinov, R. Burenin, S. Sazonov, M. Revnivitsev, A. Moiseev, S. Dodonov), *Astron. Telegram* **2759**, 1 (2010).
27. Мазетти и др. (N. Masetti, R. Landi, M. Pretorius, et al.), *Astron. Astrophys.* **470**, 331 (2007).
28. Мазетти и др. (N. Masetti, P. Parisi, E. Palazzi, et al.), *Astron. Astrophys.* **519**, 96 (2010).
29. Малиция и др. (A. Malizia, L. Bassani, V. Sguera, et al.), *MNRAS* **408**, 975 (2010).
30. Марчесини и др. (E.J. Marchesini, N. Masetti, E. Palazzi, V. Chavushyan, E. Jimenez-Bailon, et al.), *Astrophys. Space Sci.* **364**, 153 (2019).
31. Мереминский и др. (I.A. Mereminskiy, R.A. Krivonos, A.A. Lutovinov, S.Yu. Sazonov, M.G. Revnivitsev, R.A. Sunyaev), *MNRAS* **459**, 140 (2016).
32. Мольков и др. (S.V. Molkov, A.M. Cherepashchuk, A.A. Lutovinov, M.G. Revnivitsev, K.A. Postnov, R.A. Sunyaev), *Astron. Lett.* **30**, 382 (2004).
33. Приторнус, Мукай (M.L. Pretorius and K. Mukai), *MNRAS* **442**, 2580 (2014).
34. Ревнивцев и др. (M. Revnivitsev, R. Sunyaev, D. Varshalovich, V. Zheleznyakov, A. Cherepashchuk, A. Lutovinov, E. Churazov, S. Grebenev, M. Gilfanov), *Astron. Lett.* **30**, 534 (2004).
35. Ревнивцев и др. (M.G. Revnivitsev, S.Yu. Sazonov, S.V. Molkov, A.A. Lutovinov, E.M. Churazov, R.A. Sunyaev), *Astron. Lett.* **32**, 145 (2006).
36. Ревнивцев и др. (M.G. Revnivitsev, I. Yu. Zolotukhin, and A.V. Meshcheryakov), *MNRAS* **421**, 2846 (2012).
37. Стефен и др. (J.B. Stephen, L. Bassani, A. Malizia, N. Masetti, P. Ubertini), *Astron. Telegram* 11340 (2018).
38. Томсик и др. (J. Tomsick, S. Chaty, J. Rodriguez, et al.), *Astrophys. J.* **701**, 811 (2009).
39. Томсик и др. (J.A. Tomsick, R. Krivonos, Q. Wang, A. Bodaghee, S. Chaty, F. Rahoui, J. Rodriguez, F.M. Fornasini), *Astrophys. J.* **816**, 14 (2016).
40. Хейли и др. (C.J. Hailey, K. Mori, K. Perez, A.M. Canipe, J. Hong, et al.), *Astrophys. J.* **826**, 160 (2016).
41. Чуразов и др. (E. Churazov, R. Sunyaev, S. Sazonov, M. Revnivitsev, D. Varshalovich), *MNRAS* **357**, 1377 (2005).
42. Чуразов и др. (E. Churazov, R. Sunyaev, J. Isern, et al.), *Nature* **512**, 406 (2014).
43. Штерн и др. (D. Stern, R.J. Assef, D.J. Benford, A. Blain, R. Cutri, A. Dey, P. Eisenhardt, R.L. Griffith, et al.), *Astrophys. J.* **753**, 30 (2012).
44. Эванс и др. (P.A. Evans, A.P. Beardmore, K.L. Page, J.P. Osborne, P.T. O'Brien, R. Willingale, R.L.C. Starling, D.N. Burrows, et al.), *MNRAS* **397**, 1177 (2009).
45. Эванс и др. (P.A. Evans, J.P. Osborne, A.P. Beardmore, K.L. Page, R. Willingale, C.J. Mountford, C. Pagani, D.N. Burrows, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **210**, 24 (2014).
46. Эдельсон и др. (R. Edelson and M. Malkan), *Astrophys. J.* **751**, 52 (2012).
47. Ян и др. (Y. Yan, A. Esamdin, Y. HongXing), *Sci. China Phys., Mechan. Astron.* **53**, 1726 (2010).