

РЕНТГЕНОВСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ КЛАССИЧЕСКИХ НОВЫХ ТЕЛЕСКОПОМ eРОЗИТА ОРБИТАЛЬНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ СРГ В ХОДЕ ОБЗОРА НЕБА

© 2021 г. И. И. Галиуллин^{1,2*}, М. Р. Гильфанов^{3,2}

¹Казанский федеральный университет, Казань, Россия

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

³Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, Россия

Поступила в редакцию 05.08.2021 г.

После доработки 05.08.2021 г.; принята к публикации 05.08.2021 г.

Исследуется рентгеновское излучение от источников, ассоциированных с историческими классическими новыми (КН) в нашей Галактике. Для этой цели использованы данные трех обзоров неба телескопа eРОЗИТА обсерватории СРГ на половине неба, за обработку которых отвечает Российский консорциум телескопа eРОЗИТА. Из 309 исторических КН рентгеновское излучение зарегистрировано от 52 источников со светимостями $L_X \approx 10^{30} \sim 10^{34}$ эрг/с в диапазоне 0.3–2.3 кэВ. Среди них два источника со сверхмягкими спектрами связаны с рентгеновским послесвечением КН. Результаты рентгеновской спектроскопии позволяют предположить, что некоторую долю в нашей выборке источников КН, зарегистрированных в рентгеновском диапазоне, могут составлять системы с замагниченными белыми карликами. Это предположение будет проверяться в ходе дальнейших обзоров неба СРГ/eРОЗИТА. Источники КН представляют надежную выборку аккрецирующих белых карликов, на поверхности которых термоядерное горение водорода происходит в нестационарном режиме, а их рентгеновская светимость в спокойном состоянии является хорошим индикатором темпа аккреции в двойной системе. Используя этот факт, мы получили распределение по темпу аккреции белых карликов с нестационарным горением водорода и сравнили его с распределением по темпу аккреции известных стационарных сверхмягких рентгеновских источников в нашей Галактике и в близких внешних галактиках. Между этими двумя распределениями наблюдается ярко выраженная дихотомия — источники КН и стационарные сверхмягкие источники находятся в разных областях в соответствии с предсказаниями теории термоядерного горения водорода на поверхности белого карлика.

Ключевые слова: X-rays; binaries, stars — stars: white dwarfs, novae, cataclysmic variables.

DOI: 10.31857/S0320010821090059

ВВЕДЕНИЕ

Накопление аккрецируемого вещества на поверхности белого карлика (БК) в тесной двойной системе приводит к термоядерному горению водорода на его поверхности. В зависимости от темпа аккреции и массы БК термоядерное горение водорода может происходить в нестационарном или стационарном режиме, соответственно приводя к феноменам классических или рекуррентных новых (см., например, Галлахер и др., 1978; Фудзимото, 1982b,a; Старрфилд, 1989) и сверхмягких рентгеновских источников (см., например, ван ден Хёвел и др., 1992; Номото и др., 2007; Вульф и др., 2013). Аккрецирующие БК являются одним из двух

основных классов кандидатов в предшественники сверхновых типа Ia (см., например, Велан и др., 1973; Номото, 1982). В классической картине в двойных системах с одним вырожденным компонентом при стационарном горении водорода на поверхности БК происходит накопление вещества, что может привести к росту массы БК до критического значения Чандрасекара $\sim 1.4 M_{\odot}$, к его коллапсу и термоядерному взрыву, который наблюдается как вспышка сверхновой типа Ia. Теория термоядерного горения водорода на поверхности БК также допускает, что при определенных темпах аккреции и массе БК увеличение его массы до критического значения может происходить и при нестационарном горении водорода (см., например, Старрфилд и др., 2013; Хиллман и др., 2015).

* Электронный адрес: I1hIGaliullin@kpfu.ru

Стационарное горение водорода на поверхности БК происходит, когда темп аккреции вещества со звезды компаньона близок к $\dot{M}_{\text{acc}} \sim 10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$ (точные значения зависят от массы БК) и сопровождается выделением энергии, более чем на порядок превышающей гравитационную энергию аккрецирующего вещества. Так как энерговыделение происходит в глубине слоя вещества большой оптической толщины, оно приводит к генерации мягкого рентгеновского излучения со спектром, примерно близким к чернотельному, и с температурой $\sim 10\text{--}100$ эВ. Такие источники со сверхмягкими рентгеновскими спектрами и светимостью порядка $10^{36} \sim 10^{38}$ эрг/с (так называемые сверхмягкие рентгеновские источники) были впервые обнаружены более 40 лет назад (см., например, Лонг и др., 1981; Трюмпер и др., 1991; Грейнер и др., 1991; ван ден Хёвел и др., 1992). Вскоре после их открытия излучение от сверхмягких рентгеновских источников было успешно объяснено как результат стационарного горения водорода на поверхности аккрецирующего БК (см., например, ван ден Хёвел и др., 1992). Благодаря наблюдениям рентгеновских обсерваторий ROSAT, Chandra, XMM-Newton, в нашей и ближайших галактиках было обнаружено более сотни сверхмягких рентгеновских источников (см., например, Шварц и др., 2002; Ди Стефано и др., 2003, 2004; Питш и др., 2005; Галиуллин и др., 2021).

При более низких темпах аккреции $\dot{M}_{\text{acc}} \lesssim 10^{-8} M_{\odot}/\text{год}$ термоядерное горение водорода становится нестационарным, что приводит к явлению классических новых (КН) (см., например, обзор Чомьюк и др., 2020). При вспышке КН выделяется полная энергия $\sim 10^{45}$ эрг. Вспышка новой приводит к выбросу оболочки в межзвездную среду (см., например, Като и др., 1994; Хачису и др., 2006). При взаимодействии расширяющейся оболочки с межзвездной средой или веществом ветра звезды-донора может образоваться ударная волна (см., например, Брехер и др., 1977), излучающая в рентгеновском диапазоне. Рентгеновское излучение ударной волны имеет тепловой спектр с температурой $kT \gtrsim 1$ кэВ и светимостью $L_X \approx 10^{33} - 10^{35}$ эрг/с (см., например, Балман и др., 1998; Орио и др., 2001).

Термоядерное горение вещества, оставшегося после вспышки КН на поверхности БК, приводит к генерации затухающего сверхмягкого рентгеновского излучения, и после просветления выброшенной оболочки наблюдается фаза рентгеновского послесвечения КН (см., например, Несс и др., 2007; Шварц и др., 2011; Хензе и др., 2010, 2011, 2014). Спектр источника во время фазы рентгеновского послесвечения КН характеризуется отсутствием

излучения выше $\gtrsim 1$ кэВ и, как правило, описывается моделью абсолютно черного тела с температурой $\lesssim 70$ эВ, уменьшающейся со временем (см., например, Огельман и др., 1993; Крейтер и др., 1996; Несс и др., 2011). Продолжительность фазы рентгеновского послесвечения КН зависит от темпа аккреции до вспышки КН и массы БК (см., например, Эрнанс и др., 2010; Сораисам и др., 2016). Теоретические расчеты связи между продолжительностью и максимальной эффективной температурой фазы послесвечения КН (Вульф и др., 2013) согласуются с мониторингом этих объектов в галактике M31 (Хензе и др., 2010, 2011, 2014).

После окончания рентгеновского послесвечения источник возвращается в “спокойную фазу”, при которой основным источником энергии является аккреция вещества со звезды компаньона. Рентгеновское излучение катаклизмических переменных в спокойной фазе генерируется в аккреционном диске, в пограничном слое и в оптически тонкой, сравнительно горячей короне над аккреционным диском (см., например, Прингл и др., 1977; Тайленда, 1981; Паттерсон и др., 1985a,b; Шакура и др., 1988). В этом режиме источники КН проявляют себя в виде карликовых новых, вспышки которых ассоциированы с тепловой неустойчивостью в аккреционном диске (см., например, Мейер и др., 1984, 1994). Светимость катаклизмических переменных вне вспышек карликовых новых характеризует истинный темп аккреции в таких системах.

Орбитальная обсерватория Спектр-Рентген-Гамма (СРГ) была успешно запущена с космодрома Байконур 13 июля 2019 г. (Сюняев и др., 2021). На борту СРГ находятся два рентгеновских телескопа с оптикой косоугольного падения: телескоп ART-XC им. М.Н. Павлинского (Павлинский и др., 2011), рабочий диапазон 4–30 кэВ, и телескоп eROZITA, работающий в диапазоне 0.2–8 кэВ (Предель и др., 2021). К середине 2021 г. обсерватория СРГ совершила три полных обзора всего неба.

Данная работа посвящена поиску и исследованию рентгеновского излучения от источников, ассоциированных с историческими КН в нашей Галактике. Источники КН являются подтвержденными случаями аккрецирующих БК, на поверхности которых термоядерное горение водорода происходит в нестационарном режиме. Для краткости мы будем далее называть эти объекты “рентгеновские источники КН” и использовать термин “рентгеновское излучение от источников КН” для обозначения рентгеновского излучения, детектируемого от исторических КН в спокойном состоянии или же в фазе рентгеновского послесвечения. Для поиска и исследования таких источников мы используем данные трех обзоров неба орбитальной обсерватории СРГ телескопа eROZITA

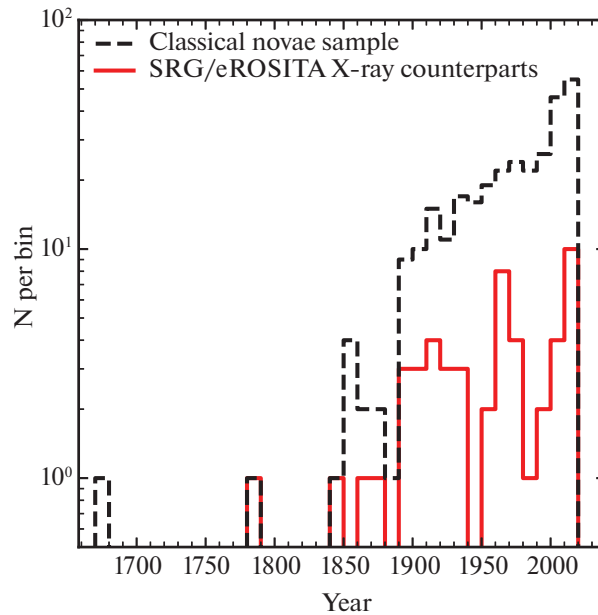


Рис. 1. Распределение Галактических КН, расположенных на половине неба, обрабатываемой Российским консорциумом SRG/eROSITA, по годам их обнаружения: пунктирная линия (черный цвет) — полная выборка КН; сплошная линия (красный цвет) — КН, имеющие кросс-идентификации с рентгеновскими источниками из каталога SRG/eROSITA в радиусе $15''$.

на половине неба, за обработку которых отвечает Российский консорциум. Нашей целью является (а) исследование рентгеновских свойств большой выборки источников КН; (б) поиск источников, находящихся в фазе рентгеновского послесвечения КН; (в) построение распределения источников КН по темпу аккреции в двойной системе и сравнение с аналогичным распределением для известных стационарных сверхмягких рентгеновских источников и с теоретическими предсказаниями.

ВЫБОРКА ИСТОРИЧЕСКИХ КЛАССИЧЕСКИХ НОВЫХ В ГАЛАКТИКЕ

Для исследования рентгеновского излучения от источников КН в спокойном состоянии мы собрали выборку известных исторических КН в нашей Галактике, которые были классифицированы и подтверждены по оптическим кривым блеска и спектрам. За основу был взят список известных КН, составленный Центральным бюро астрономических телеграмм (Central Bureau for Astronomical Telegrams¹). Этот список включает КН, открытые в период с 1612 по 2010 г. К нему мы добавили КН, обнаруженные с 2010 по 2021 г., из публично-доступных списков Коджи Мукайя² и Билла Грея³. В итоговую выборку КН мы отобрали

только те источники, которые расположены на половине неба, за обработку данных которого несет ответственность Российский консорциум телескопа SRG/eROSITA.

Полученная таким образом выборка КН в нашей Галактике включает 309 источников с Галактической долготой $0^\circ \leq l \leq 180^\circ$, открытых в период с 1670 по 2020 г. Распределение КН по годам их обнаружения представлено на рис. 1. Как видно из рисунка, основная часть событий была зарегистрирована после 1850 г.

ДАННЫЕ ТЕЛЕСКОПА SRG/eROSITA

В работе мы используем данные трех обзоров неба, полученные телескопом eROSITA обсерватории SRG в период с декабря 2019 г. по июнь 2021 г. Первичная обработка и калибровка данных телескопа eROSITA производились в ИКИ РАН системой обработки данных телескопа при помощи математического обеспечения, разработанного в научной рабочей группе по каталогу рентгеновских источников eROSITA с использованием пакета eSASS (eROSITA Science Analysis Software), разработанного в Институте Внеземной Физики Общества им. Макса Планка. При обработке данных использовались результаты наземных предполетных калибровок, а также летных калибровочных наблюдений, выполненных в октябре–ноябре 2019 г. и в течение 2020–2021 гг. Данные трех

¹ http://www.cbat.eps.harvard.edu/nova_list.html

² <https://asd.gsfc.nasa.gov/Koji.Mukai/novae/novae.html>

³ <https://projectpluto.com/galnovae/galnovae.htm>

обзоров неба комбинировались для повышения чувствительности.

Рентгеновский каталог источников был кросс-коррелирован со списком известных КН в Галактике с радиусом поиска $15''$. При таком радиусе поиска было найдено 52 совпадения. При этом ожидаемое число случайных совпадений ~ 0.75 , т.е. достаточно мало. Итоговый список рентгеновских источников, имеющих отождествления с КН, представлен в табл. 2. Расстояния и избытки цвета КН были заимствованы из разных работ, ссылки на которые приведены в таблице. Для части КН мы определили расстояния при помощи измеренных параллаксов из второго выпуска каталога источников Гайя (Gaia Collaboration, 2016, 2018). Для кросс-идентификации списка КН и каталога Гайя использовался радиус поиска $1''$. Данные Гайя были использованы только для тех источников, для которых собственные движения и/или параллаксы были измерены со статистической значимостью $\gtrsim 3\sigma$.

При извлечении спектров и кривых блеска в качестве области источника использовалась окружность с радиусом $60''$, а в качестве области фона — кольцо с внутренним и внешним радиусами $120''$ и $240''$ соответственно. Для анализа рентгеновских спектров использовалось программное обеспечение XSPEC v.12 (Арно, 1996). При аппроксимации спектров использовалась C -статистика (Кэш, 1979). При этом спектральные каналы были сгруппированы таким образом, чтобы включать не менее трех отсчетов на канал⁴.

Для проверки качества аппроксимации данных спектральной моделью мы использовали симуляции методом Монте-Карло. В частности, мы использовали реализацию таких симуляций, предоставляемую в пакете XSPEC командой *goodness* со статистическим тестом Андерсона–Дарлингса (AD)⁵. Тест при помощи команды *goodness* позволяет рассчитать долю симуляций, имеющих величину статистики AD больше, чем фактическая величина, полученная при аппроксимации наблюдаемого спектра источника выбранной моделью. Для каждого источника и для каждой спектральной модели производилось 10^5 реализаций с параметрами *nosim* и *fit*. В каждой реализации спектр разыгрывался согласно пуассоновской статистике, использующей наилучшие значения параметров модели, и затем аппроксимировался той же моделью, чтобы определить наилучшее значение статистики AD. Распределение полученных значений статистики

AD использовалось для оценки вероятности получить значение статистики, превосходящее наблюдаемое, в результате статистических флуктуаций. Для сравнения результатов аппроксимации одних и тех же данных разными спектральными моделями, мы использовали информационный критерий Акаике (AIC) (Акаике, 1974), рассчитанный как $AIC = 2 \times k + C$, где k — число свободных параметров при аппроксимации спектра и C — величина C -статистики для наилучших параметров аппроксимации спектра. Предпочтительной моделью для аппроксимации наблюдаемого спектра является модель с минимальным значением AIC.

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ОТ ИСТОЧНИКОВ КЛАССИЧЕСКИХ НОВЫХ В СПОКОЙНОМ СОСТОЯНИИ

Спектральный анализ ярких источников

Для 11 источников из нашей выборки телескоп SRG/eROSITA зарегистрировал более 50 отсчетов, что достаточно для спектрального анализа. Их спектры приведены на рис. 7, а результаты их аппроксимации различными спектральными моделями — в табл. 1. Для учета межзвездного поглощения использовалась модель Tubingen-Boulder ISM absorption (модель *tabs* в XSPEC, Вильмс и др. 2000) в предположении солнечного обилия элементов в межзвездной среде.

Спектры ярких источников демонстрируют некоторую дихотомию между источниками с жесткими спектрами с $\Gamma \sim 1$ и источниками с мягкими спектрами $\Gamma \sim 2 - 3$, которая обсуждается более подробно в этой и последующих секциях. Мы не обнаружили очевидной связи формы спектра со светимостью источника или со временем, прошедшим с момента вспышки КН.

Спектры нескольких источников имеют более сложную форму, чем простая степенная модель или модель оптически тонкой плазмы. Поэтому мы также использовали для описания наблюдаемых спектров модель потока изобарического охлаждения *mckflow*⁶ в XSPEC (Мушоцки и др., 1988). Эта модель успешно описывает спектры рентгеновского излучения карликовых новых в спокойном состоянии (см., например, Мукаи и др., 2003; Баскилл и др., 2005; Пандель и др., 2005; Мукаи и др., 2009; Вада и др., 2017). Минимальная и максимальная

⁴ См. примечание для работы в XSPEC: <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/xanadu/xspec/manual/XSappendixStatistics.html>.

⁵ См. Приложение В в примечании для работы в XSPEC.

⁶ Отметим, что при использовании модели *mckflow* необходимо установить параметр красного смещения $z > 0$, так как изначально модель создавалась для описания рентгеновского излучения от скопления галактик. Параметр красного смещения мы определяли из расстояний, приведенных в табл. 2 и постоянной Хаббла $H_0 = 69.3 \text{ км}/(\text{Мпк с})$.

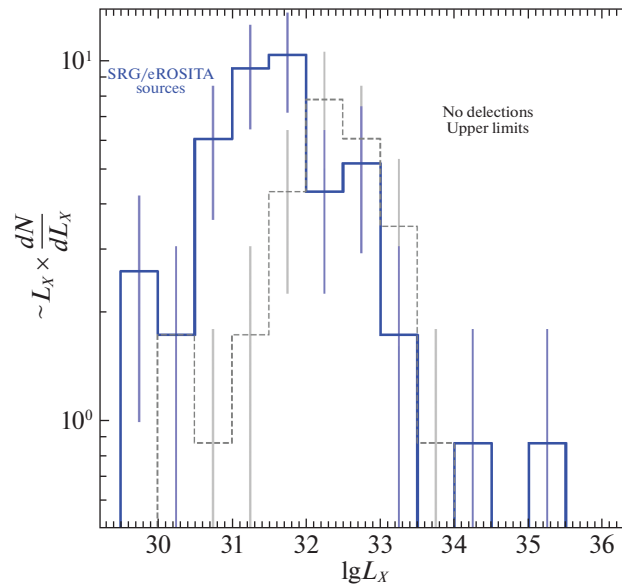


Рис. 2. Распределение источников КН по наблюдаемой рентгеновской светимости в диапазоне 0.3–2.3 кэВ, полученное по данным трех обзоров неба SRG/eРОЗИТА (синий цвет). Серой гистограммой показано распределение 3σ верхних пределов на рентгеновские светимости источников КН, не задетектированных по данным трех обзоров неба, для которых известны расстояния (серый цвет). Рентгеновская светимость откорректирована на межзвездное поглощение. Показаны наблюдаемые распределения, не откорректированные на эффекты неполноты выборки.

температуры плазмы были свободными параметрами при аппроксимации спектров. Если наилучшее значение минимальной температуры плазмы совместить с нулем, то этот параметр будет фиксирован на значении 8 эВ. Для ряда источника из нашей выборки, в частности, для V603 Aql, V2487 Oph, V2491 Cyg и VY Aqr, модель *mksflow* позволяет получить более хорошую аппроксимацию наблюдаемых рентгеновских спектров, чем простая степенная модель или, в некоторых случаях, модель излучения однотемпературной оптически тонкой плазмы. В то же время для источников с жесткими спектрами GK Per, V392 Per, X Ser и V4743 Sgr, для которых степенная аппроксимация дает значения фотонного индекса $\Gamma \sim 1$, модель потока изобарического охлаждения явно не применима и приводит к неразумно большим значениям температур $\gtrsim 100$ кэВ, не реализуемых на поверхности БК. Для этих источников параметры аппроксимации моделью *mksflow* мы не приводим.

Спектр источника V2491 Cyg не поддается удовлетворительному описанию ни одной из простых однокомпонентных моделей, рассмотренных выше. Этот источник имеет сравнительно мягкий спектр, однако модель оптически тонкой однотемпературной плазмы не описывает излучение от источника. Добавление в модель еще одной компоненты — излучения абсолютно черного тела — значительно улучшает качество аппроксимации спектра, делая его приемлемым. В случае такой двухкомпонентной модели, данные не ограничивают сверху температуру оптически тонкой тепловой компоненты, по-

этому она была зафиксирована на значении 10 кэВ. Природа сверхмягкой компоненты в спектре источника V2491 Cyg обсуждается ниже.

Спектр источника V2487 Oph также не поддается описанию спектром излучения оптически тонкой плазмы, но применение модели потока изобарического охлаждения позволяет получить удовлетворительное качество аппроксимации данных. Однако так же, как и в случае V2491 Cyg, возможное присутствие сверхмягкой компоненты в спектре V2487 Oph отмечалось в предыдущих исследованиях (см., например, Эрнанс и др., 2002). Поэтому мы аппроксимировали спектр этого источника двухкомпонентной моделью, включающей излучение абсолютно черного тела, и получили значительное улучшение качества описания данных по сравнению с простой однотемпературной тепловой моделью. Параметры — температура и светимость мягкой компоненты $kT \sim 100$ эВ, $\log(L_X) \sim 36.3$, сравнимы с параметрами для V2491 Cyg. Однако сравнение значений *C*-статистики и информационного критерия Акаике демонстрируют, что модель *mksflow* является достаточной для аппроксимации спектра источника, и введение второй компоненты не требуется. Таким образом, вопрос о наличии в спектре V2487 Oph сверхмягкой компоненты остается открытым. Для других источников из нашей выборки добавление сверхмягкой тепловой компоненты не улучшает качество аппроксимации спектра.

В спектрах некоторых источников, в частности, V603 Aql, V2487 Oph, V392 Per, обращают на

себя внимание спектральные особенности, которые могут быть проинтерпретированы как линии излучения или поглощения. В случае V603 Aql и V2487 Oph эти особенности, расположенные на энергиях ≈ 3.8 и ≈ 4.3 кэВ, не соответствуют линиям излучения ни одного из космически распространенных элементов. Принимая во внимание степени свободы, связанные с положением этих линий и их шириной, их статистическая достоверность невелика, и они не требуют отдельного обсуждения. В случае V392 Peg линия поглощения расположена на энергии $\approx 0.68 \pm 0.02$ кэВ, что близко к резонансным линиям ионизованного кислорода OVII и OVIII. Предполагая, что положение линии фиксировано, ее статистическая значимость составляет $\approx 2 - 2.5\sigma$ для одного исследованного спектра. Принимая во внимание количество исследовавшихся спектров, это весьма умеренная достоверность, поэтому мы не рассматриваем это как надежное детектирование. Отметим, что ранее линии поглощения ионизованного кислорода в спектре V392 Peg не наблюдались.

Средний спектр слабых источников

Мы построили средний спектр источников, от которых было зарегистрировано менее 50 отсчетов, отношение сигнал/шум которых недостаточно для детального индивидуального исследования. Усредненный спектр этих источников изображен на рис. 3. Аппроксимация спектра моделью степенного закона дает значения наилучших параметров $\Gamma = 0.96^{+0.18}_{-0.17}$ и $N_H = 9.9^{+3.8}_{-3.4} \times 10^{20}$ см⁻². Как и следовало ожидать, исходя из жесткости спектра, аппроксимация спектра моделью излучения оптически тонкой плазмы не позволяет получить верхнюю границу для температуры плазмы. Нижний предел на температуру составляет ≈ 43 кэВ. Мы также разбили слабые источники на две группы — источники, от которых зарегистрировано от 25 до 50 отсчетов (12 источников), и источники с отсчетами менее 25 (25 источников). Средние спектры для обеих групп имеют параметры, совместимые в пределах ошибок с приведенными выше.

Рентгеновские светимости

Для вычисления рентгеновской светимости источников, от которых в среднем регистрируется более 50 отсчетов, мы использовали модель с минимальным значением информационного критерия AIC, что соответствует наилучшей модели для аппроксимации данных. Для более слабых источников мы использовали спектральную модель, полученную в результате аппроксимации среднего спектра слабых источников, приведенную выше.

Величина колонковой плотности водорода на луче зрения вычислялась для каждого источника индивидуально на основе измерений избытка цвета $E(B - V)$. Для пересчета избытка цвета в поглощение A_V мы предполагали $R_V \approx 3.1$ (Карделли и др., 1989), а при вычислении величины колонковой плотности использовали стандартную формулу $N_H \approx 2.21 \times 10^{21} \times A_V$ (Гувер и др., 2009). Для тех источников, где избыток цвета $E(B - V)$ не был известен, мы использовали полную колонковую плотность водорода в Галактике в направлении на источник, полученную по данным обзора HI4PI (HI4PI Collaboration, 2016). Отметим, что, так как типичные спектры источников КН достаточно жесткие (за исключением нескольких источников, обсуждаемых в следующем разделе), часть болометрической поправки, связанная с поправкой рентгеновской светимости за низкочастотное поглощение, невелика, поэтому некоторая неопределенность в величине N_H для источников с неизвестным избытком цвета не сильно влияет на наши результаты. Некоторая неопределенность в форме спектра слабых источников также не сильно влияет на точность оценок их рентгеновской светимости. Так, вариации наклона предполагаемого степенного спектра в интервале 0.9–2.7 приводят к вариации фактора перевода отсчетов в физические потоки на $\pm 15\%$.

Для 41 источника из 52 известны расстояния, что позволяет вычислить их светимости. Для оставшихся одиннадцати источников мы оценили их светимости, используя медианное расстояние источников с известными расстояниями, которое оказалось равным 1.5 кпк. Таким образом, мы получили распределение зарегистрированных источников по их рентгеновской светимости в диапазоне 0.3–2.3 кэВ, откорректированной на поглощение. Полученное распределение показано на рис. 2. Оставшиеся 257 исторических КН из нашей выборки не были зарегистрированы в данных трех обзоров неба SRG/eROZITy. Для 31 источника из них мы определили расстояния по каталогу Гайя и построили наблюдаемое распределение 3σ верхних пределов на их рентгеновские светимости (рис. 2).

ВСПЫШКА КАРЛИКОВОЙ НОВОЙ VY Aqr

В ноябре 2020 г. произошла вспышка карликовой новой VY Aqr, которая достигла максимума блеска 8 ноября 2020 г. $\sim 9.6^m$ в визуальной полосе (Вааген, 2020). В силу случайного совпадения источник в этот день сканировался телескопом SRG/eROZITA в ходе второго обзора неба, что позволило исследовать поведение источника в рентгеновском диапазоне в максимуме оптической кривой блеска. Во время первого (06/05/2020)

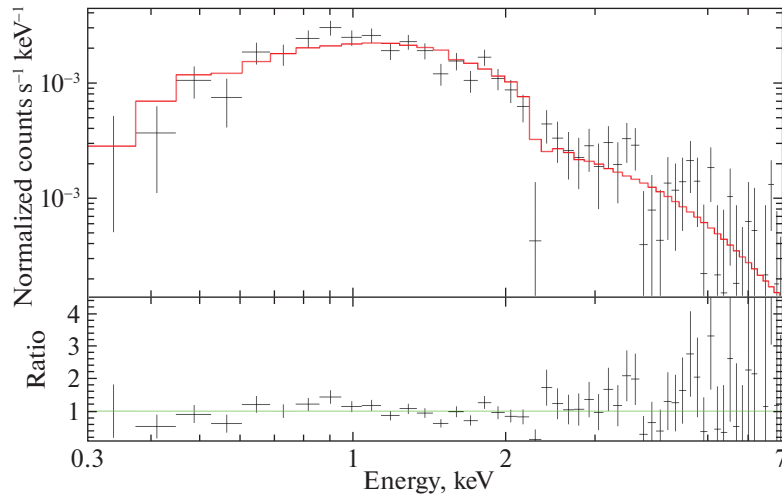


Рис. 3. Усредненный рентгеновский спектр источников с менее 50 отсчетами. Модель степенного наклона представлена красным цветом. Нижняя панель: отношение наблюдаемых отсчетов к модельным в каждом энергетическом канале.

и третьего (09/05/2021) обзоров неба источник находился в спокойном состоянии.

Полученные данные телескопа СРГ/еРОЗИТА впервые позволяют проанализировать рентгеновский спектр источника VY Aqr во время вспышки карликовой новой. Для исследования спектра в спокойном состоянии мы скомбинировали спектры первого и третьего обзоров неба для увеличения статистики. Результаты аппроксимация спектра разными моделями приведены в двух последних столбцах табл. 1.

Наклон степенной модели и температура оптически тонкой плазмы демонстрируют, что во время вспышки карликовой новой спектр источника становится мягче, в то время как светимость увеличивается в ≈ 10 раз. Характерные температуры в модели потока изобарического охлаждения во вспышке уменьшаются в ≈ 2 раза. Во время вспышки карликовой новой увеличение темпа аккреции приводит к образованию пограничного слоя с высокой оптической толщиной, что приводит к видимому “смягчению” рентгеновского спектра (см., например, Прингл и др., 1977; Паттерсон и др., 1985b). Отметим, что в ноябре 2007 г. источник VY Aqr наблюдался обсерваторией Suzaku в спокойном состоянии (Вада и др., 2017). При аппроксимации спектров Вада и др. (2017) также использовали модель охлаждающегося потока, получив максимальную температуру $kT_{\max} \approx 18.4$ кэВ и темп аккреции $\dot{M}_{\text{acc}} \approx 7 \times 10^{-13} M_{\odot}/\text{год}$, что близко к нашим значениями.

КАНДИДАТЫ В СВЕРХМЯГКИЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ИСТОЧНИКИ СРЕДИ ВЫБОРКИ ИСТОЧНИКОВ КН СРГ/еРОЗИТЫ

Среди рентгеновских источников КН был произведен поиск кандидатов в сверхмягкие источники, рентгеновское излучение которых связано с фазой послесвечения КН. Для этого мы аппроксимировали спектры всех источников моделью абсолютно черного тела с применением поглощения (модель $tbabs \times bbodyrad$ в XSPEC). Колонковая плотность водорода была зафиксирована на значении, определенном по избытку цвета $E(B - V)$, как описано выше.

Большинство источников из нашей выборки имеют достаточно жесткие рентгеновские спектры, которые не описываются моделью абсолютно черного тела. Аппроксимация таких спектров данной моделью приводит к большим температурам $\gtrsim 200$ эВ и, как правило, небольшим рентгеновским светимостям $L_X \approx 10^{30} \sim 10^{34}$ эрг/с, что не согласуется со значениями, ожидаемыми во время фазы рентгеновского послесвечения КН. Однако эта процедура позволяет выделить источники с мягкими спектрами для дальнейшего исследования. Распределение источников по температуре представлено на рис. 4. Источники с температурами $\gtrsim 600$ эВ были исключены при построении рис. 4.

Для дальнейшего исследования мы отобрали источники с температурой ≤ 200 эВ (девять источников). Из них пять имели статистически значимый ($\geq 3\sigma$) поток на энергии выше 1.0 кэВ и после визуальной инспекции были исключены из выборки кандидатов в сверхмягкие источники. В итоге

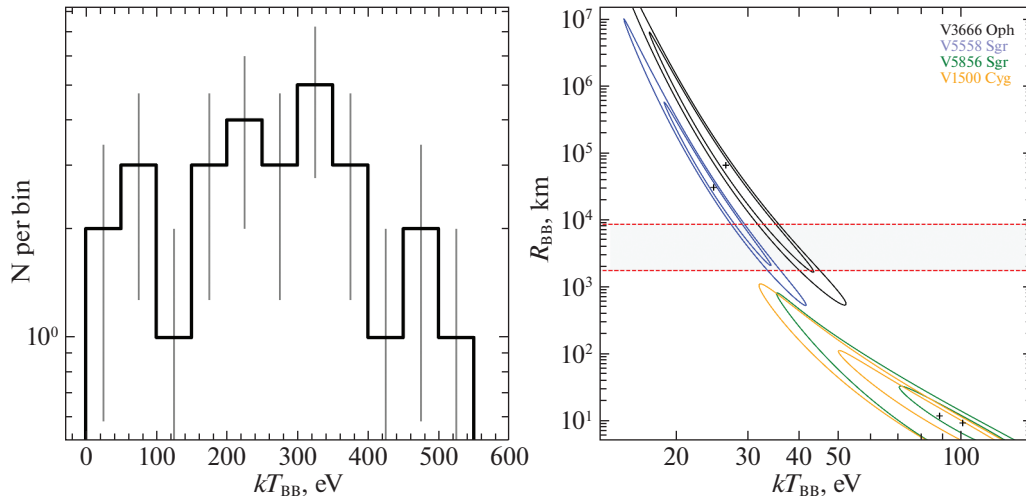


Рис. 4. Левая панель: Распределение источников КН по температуре абсолютно черного тела. Источники с температурами ≥ 600 эВ были исключены из распределения. Предварительный отбор кандидатов в сверхмягкие рентгеновские источники производился по температуре ≤ 200 эВ. Правая панель: Контуры доверительных интервалов 68% и 95% радиуса и температуры модели абсолютно черного тела. Красными линиями обозначены радиусы БК для $0.6 M_{\odot}$ и $1.4 M_{\odot}$, полученные из соотношения массы–радиуса БК из Панеи и др. (2000).

из 52 источников КН мы отобрали четыре потенциальных кандидата в сверхмягкие источники. Их спектры показаны на рис. 5, а на рис. 4 показаны контуры доверительного интервала на радиус и температуру в модели абсолютно черного тела. На рис. 4 также показаны значения радиуса БК массой $0.6 M_{\odot}$ и $1.4 M_{\odot}$, полученные из соотношения массы–радиуса БК из работы Панеи и др. (2000). Ниже каждый из четырех кандидатов в сверхмягкие источники обсуждается индивидуально.

SRGe J174224.2-205309 (V3666 Oph). Аппроксимация спектра источника моделью абсолютно черного тела с фиксированной колонковой плотностью $N_H \approx 6.6 \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$ дает температуру $kT \approx 27 \pm 10$ эВ при значении C -статистики 6.86 для семи степеней свободы. Наблюдаемая рентгеновская светимость в диапазоне 0.3–2.3 кэВ равна $L_{X,\text{obs}} = 1.5 \pm 0.5 \times 10^{31}$ эрг/с. Из-за низкой температуры спектра и относительно большой колонковой плотности водородная болометрическая коррекция светимости составляет $\sim 10^6$. Оценка болометрической светимости (и, соответственно, радиуса излучающей поверхности) имеет большую неопределенность $L_{\text{bol}} \approx 2.1^{+25.7}_{-2.0} \times 10^{37}$ эрг/с. Так как расстояние до источника неизвестно, при расчете светимости использовалось медианное расстояние 1.5 кпк. Доверительный интервал для радиуса излучающей поверхности в модели абсолютно черного тела включает область радиусов БК, поэтому рентгеновское излучение от источника может быть связано с рентгеновским послесвечением после вспышки КН. Сверхмягкое рентгенов-

ское излучение от источника детектируется спустя ≈ 1.6 лет после вспышки КН.

SRGe J181018.2-184653 (V5558 Sgr). При аппроксимации спектра источника моделью абсолютно черного тела с фиксированной колонковой плотностью $N_H \approx 5.5 \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$ получается температура $kT \approx 25^{+10}_{-7}$ эВ (величина C -статистики 2.8 для пяти степеней свободы). Наблюдаемая рентгеновская светимость в диапазоне 0.3–2.3 кэВ равна $L_{X,\text{obs}} = 2.8 \pm 0.6 \times 10^{31}$ эрг/с, а болометрическая светимость $L_{\text{bol}} \approx 1.8^{+28.8}_{-1.7} \times 10^{37}$ эрг/с. Область ошибок на радиус и температуру модели абсолютно черного тела включает диапазон допустимых радиусов БК, поэтому рентгеновское излучение от источника вполне может быть связано с рентгеновским послесвечением КН. Сверхмягкое рентгеновское излучение от источника детектируется спустя ≈ 13 лет после вспышки КН.

SRGe J182052.9-282218 (V5856 Sgr). При аппроксимации спектра источника моделью абсолютно черного тела с фиксированной колонковой плотностью $N_H \approx 2.3 \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$ получается температура $kT \approx 101^{+51}_{-28}$ эВ (величина C -статистики 3.1 для пяти степеней свободы). Наблюдаемая рентгеновская светимость в диапазоне 0.3–2.3 кэВ равна $L_{X,\text{obs}} = 2.9 \pm 0.6 \times 10^{32}$ эрг/с, а болометрическая светимость $L_{\text{bol}} \approx 1.1^{+3.6}_{-0.8} \times 10^{33}$ эрг/с. Область ошибок для радиуса и температуры в модели абсолютно черного тела не пересекается с

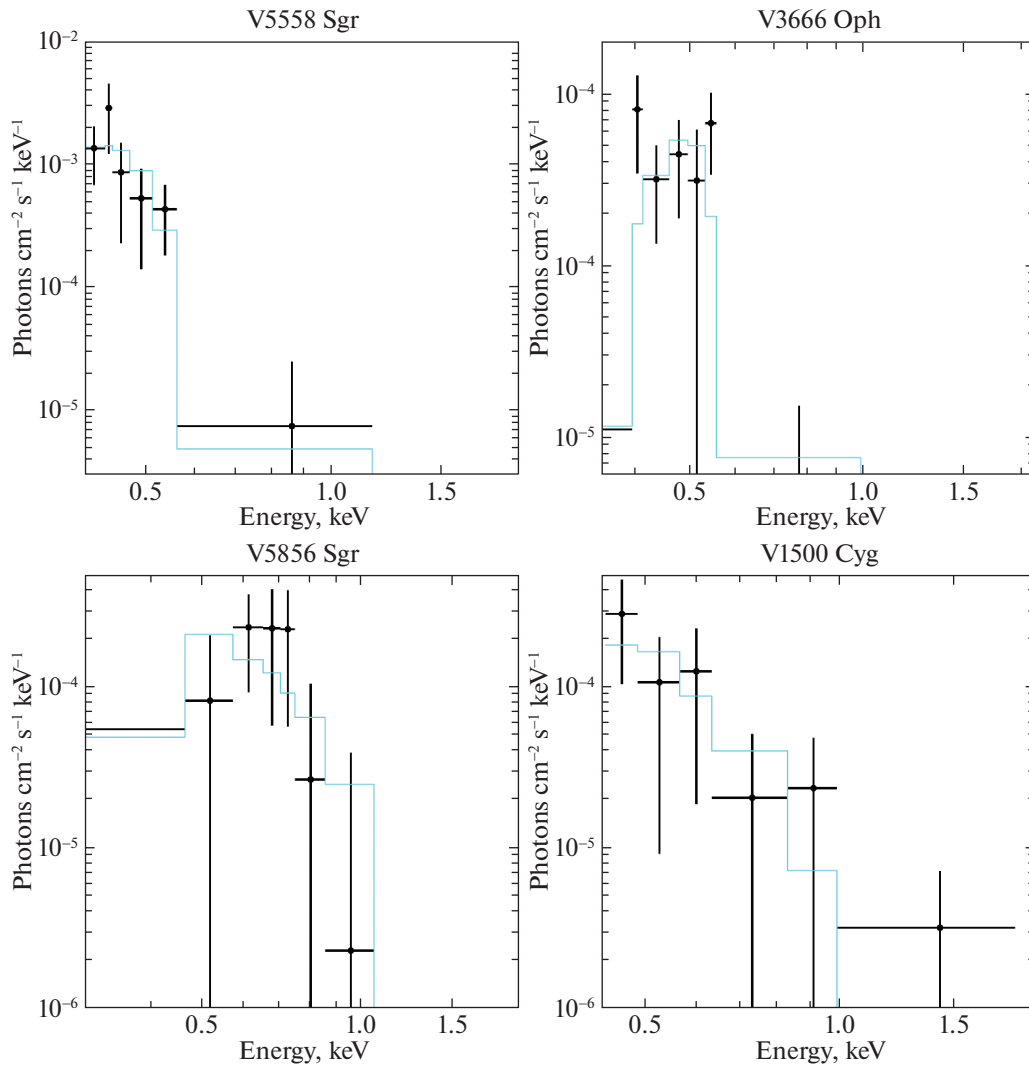


Рис. 5. Спектры СРГ/eРОЗИТы потенциальных кандидатов в сверхмягкие рентгеновские источники среди выборки КН. Модель абсолютно черного тела представлена сплошной линией (голубой цвет).

областью допустимых радиусов БК, поэтому рентгеновское излучение от источника скорее всего не является фазой послесвечения КН. Сверхмягкое рентгеновское излучение от источника детектируется спустя ≈ 3.4 года после вспышки КН.

Отметим, что параметры мягкого рентгеновского излучения V5856 Sgr практически идентичны параметрам, полученным для поляра V1500 Cyg (рис. 4). Хотя, строго говоря, этого недостаточно для того, чтобы классифицировать источник как поляр, эта гипотеза заслуживает более подробного исследования в ходе последующих наблюдений.

SRGe J211136.5+480905 (V1500 Cyg). Источник V1500 Cyg является известным поляром в Галактике, который демонстрирует многокомпонентный рентгеновский спектр. Мягкая компо-

нента описывается спектром абсолютно черного тела с температурой $kT \approx 60$ эВ, а жесткая — спектром тормозного излучения с температурой $kT_{br} \approx 40$ кэВ (см., например, Харрисон и др., 2016). Из-за относительно малого времени экспозиции на источник в обзоре неба жесткая компонента в его спектре не регистрируется, и V1500 Cyg наблюдается eРОЗИТой как источник со сверхмягким спектром.

При аппроксимации спектра источника моделью абсолютно черного тела с фиксированной колонковой плотностью $N_H \approx 3.1 \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$ получается температура $kT \approx 88^{+36}_{-35}$ эВ (величина С-статистики 2.5 для шести степеней свободы). Наблюдаемая рентгеновская светимость в диапазоне 0.3–2.3 кэВ равна $L_{X,obs} = 2.9 \pm 0.6 \times 10^{31} \text{ эрг/с}$,

а болометрическая светимость — $L_{\text{bol}} \approx 5.1_{-2.9}^{+3.6} \times 10^{32}$ эрг/с.

НАБЛЮДАЕМОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПО ТЕМПУ АККРЕЦИИ

Исторические КН представляют собой выборку подтвержденных БК, на поверхности которых горение водорода происходит в нестационарном режиме. Измерение их рентгеновской светимости в спокойном состоянии после завершения вспышки позволяет оценить или ограничить сверху величину темпа аккреции в этих системах. С другой стороны, стационарные сверхмягкие источники, наблюдающиеся в ярком состоянии со светимостью $\gtrsim 10^{37}$ эрг/с на протяжении нескольких десятков лет, представляют примеры источников, в которых ядерное горение водорода происходит в стационарном режиме (или близко к нему). Темп аккреции в таких источниках нетрудно оценить, предполагая, что их светимость обусловлена термоядерными реакциями горения водорода. Сравнение полученных распределений темпов аккреции для этих двух типов аккрецирующих БК позволяет проверить предсказания теории термоядерного горения на поверхности БК.

Стационарные сверхмягкие рентгеновские источники

При термоядерном горении водорода на поверхности аккрецирующего БК болометрическая светимость источника определяется как

$$L_{\text{bol}} = \epsilon_H X_H \dot{M}_{\text{acc}}, \quad (1)$$

где энергия, выделяемая при горении водорода, $\epsilon_H \approx 6 \times 10^{18}$ эрг/г, массовая доля водорода $X_H \approx 0.72$ и \dot{M}_{acc} — темп аккреции вещества. Используя эту формулу, мы вычислили значения темпа аккреции для 10 известных стационарных сверхмягких рентгеновских источников из каталога Грейнера (1996).

Источники КН в спокойном состоянии

Основная часть источников КН находится в спокойном состоянии, за исключением нескольких сверхмягких рентгеновских источников, ассоциированных с недавними КН и источника VU Aqr, который наблюдался СРГ/еРОЗИТой в пике вспышки карликовой новой. Эти источники подробно обсуждались в предыдущих разделах. В спокойном состоянии, в ходе аккреции вещества на БК половина излучаемой энергии выделяется в аккреционном диске, а половина — в пограничном слое вблизи поверхности БК. При обсуждаемых

темпах аккреции, $\dot{M}_{\text{acc}} \lesssim 10^{-9} M_{\odot}/\text{год}$, пограничный слой является оптически тонким (см., например, Паттерсон и др., 1985а), аккреционный диск — оптически толстым (Шакура и др., 1988). Некоторая часть энергии аккреции преобразуется в излучение в оптически тонкой горячей короне аккреционного диска (см., например, Мейер и др., 1984, 1994). Излучение собственно аккреционного диска имеет характерную температуру $kT \lesssim 10$ эВ и в основном находится за пределами энергетического диапазона СРГ/еРОЗИТы, а наблюдаемое рентгеновское излучение производится горячей короной диска и пограничным слоем. С учетом вышесказанного, темп аккреции и рентгеновская светимость связаны соотношением

$$L_X = \eta \times \frac{G M_* \dot{M}_{\text{acc}}}{R_*}, \quad (2)$$

где под рентгеновской светимостью мы понимаем светимость в широком диапазоне энергий 0.1–100 кэВ, η — доля энергии, излучаемой в рентгеновском диапазоне ($\eta \lesssim 1$), \dot{M}_{acc} — темп аккреции, M_* и R_* — масса и радиус БК.

Значение параметра η зависит от соотношения долей энергии, излучаемой в разных частях аккреционного потока — в аккреционном диске, короне диска и пограничном слое. Из теоремы вириала следует, что в случае медленно вращающегося БК доля энергии, высвобождаемой в пограничном слое, составляет 50%. Поэтому, принимая во внимание, что пограничный слой является оптически тонким, мы ожидаем $\eta \gtrsim 0.5$. Вклад излучения короны аккреционного диска приведет к увеличению значения η , но, очевидно, должно выполняться условие $\eta < 1$. В нижеследующих расчетах мы предполагали $\eta = 0.5$.

Для оценки болометрической поправки для рентгеновской светимости, измеряемой в диапазоне 0.3–2.3 кэВ, мы предполагали, что спектр источника описывается моделью тормозного излучения. При вариации температуры тормозного излучения в интервале 5–20 кэВ, болометрическая поправка меняется в интервале $L_X/L_X[0.3-2.3] \approx 2.4 - 5.4$. Для дальнейших расчетов мы предполагали $kT_{br} = 10$ кэВ и болометрическая поправка составляет ≈ 3.5 .

В тех случаях, когда масса БК была неизвестна, мы предполагали, что она равна $M_{WD} = 0.8 M_{\odot}$. Радиус БК рассчитывался из соотношения массы-радиуса Панеи и др. (2000).

Распределение БК по темпу аккреции

На левой панели рис. 6 на плоскости $M_{WD} - \dot{M}_{\text{acc}}$ изображены источники КН, для которых есть измерения массы БК (табл. 2). Как следует

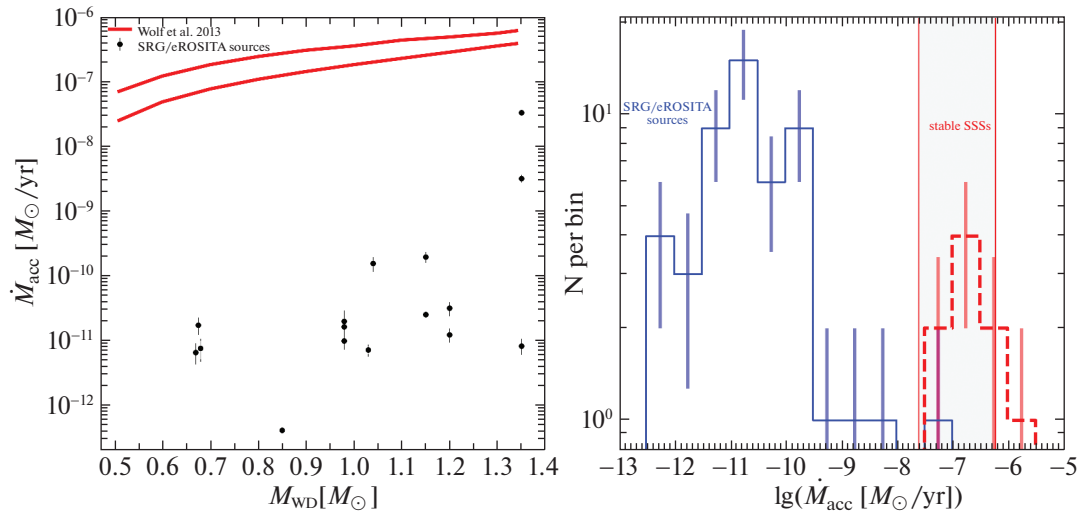


Рис. 6. Левая панель: Наблюдаемое распределение КН с известными массами БК на плоскости $M_{WD} - \dot{M}_{acc}$. Область стационарного термоядерного горения на поверхности аккрецирующего БК, полученная по расчетам Вульфа и др. 2013, представлена сплошными красными линиями. Правая панель: Наблюдаемое распределение всех рентгеновских источников КН (синий цвет) и известных стабильных сверхмягких рентгеновских источников (красный цвет, пунктирные линии) из каталога Грейнера 1996 по темпу аккреции. Правая панель является проекцией плоскости $M_{WD} - \dot{M}_{acc}$. Вертикальные, красные линии на правой панели: границы полосы стабильности для $\dot{M}_{acc} \approx 2.5 \times 10^{-8} M_{\odot}/год$ ($M_{WD} \approx 0.51 M_{\odot}$) и $\dot{M}_{acc} \approx 6 \times 10^{-7} M_{\odot}/год$ ($M_{WD} \approx 1.34 M_{\odot}$).

из этого рисунка, все источники КН расположены значительно ниже “полосы стабильности”, как и следовало ожидать, исходя из того факта, что выборка исторических КН состоит из аккрецирующих БК, про которые достоверно известно, что горение водорода на поверхности БК происходит в нестационарном режиме. Полоса стабильности на рис. 6 построена на основе расчетов Вульфа и др. (2013).

На правой панели рисунка приведены распределения по темпу аккреции всех источников КН, детектируемых SRG/eROZITой, и известных стационарных сверхмягких источников из каталога Грейнера (1996). На этом рисунке также изображена проекция теоретической “полосы стабильности” на ось темпа аккреции. Как видно из рисунка, источники с нестационарным горением водорода на поверхности БК ($\dot{M}_{acc} \approx 10^{-12} \sim 10^{-8} M_{\odot}/год$) и стабильные сверхмягкие источники ($\dot{M}_{acc} \approx 10^{-7.5} \sim 10^{-6} M_{\odot}/год$) занимают разные, не пересекающиеся по темпу аккреции интервалы. На одномерном распределении по темпу аккреции один источник — V2487 Орh — попадает в область, занимаемую стационарными сверхмягкими источниками, однако, как видно из левой панели рис. 6, это эффект проекции, и на плоскости $M_{WD} - \dot{M}_{acc}$ источник V2487 Орh ($M_{WD} \approx 1.35 M_{\odot}$ и $\dot{M}_{acc} \approx 9 \times 10^{-8} M_{\odot}/год$) расположен ниже “полосы стабильности”.

ОБСУЖДЕНИЕ

Природа рентгеновского излучения от источников КН

Известно несколько механизмов генерации рентгеновского излучения после окончания вспышки КН от немагнитного БК: (i) в ударной волне при взаимодействии выброшенной оболочки КН с межзвездной средой, с веществом звездного ветра компаньона или веществом оболочки, выброшенной во время предыдущих событий КН (см., например, Брехер и др., 1977; Боде, Эванс, 2008); (ii) рентгеновское послесвечение, возникающее в результате догорания водорода на поверхности БК (см. обсуждение ниже); (iii) излучение аккреционного диска, короны и пограничного слоя в спокойном состоянии КН, включая вспышки карликовых новых.

В первом случае рентгеновское излучение оптически тонкой плазмы с характерной светимостью $L_X \lesssim 10^{32} - 10^{34}$ эрг/с наблюдается на временных масштабах порядка ~ 100 дней после вспышки (см., например, Метцгер и др., 2014). Так как таких недавних КН в нашей выборке нет, этот механизм можно исключить из дальнейшего рассмотрения.

Рентгеновское послесвечение КН также длится в течение относительно недолгого периода после вспышки КН (но значительно дольше, чем излучение ударной волны) и легко идентифицируется по сверхмягкому спектру. Таких источников в нашей

выборке два, и они обсуждаются ниже. Отметим, что сверхмягкое рентгеновское излучение может также наблюдаться в случае замагниченных БК — поляр, однако в этом случае чаще происходит стационарное горение водорода, и вспышки КН наблюдаются реже. Интересно, что в нашей выборке КН есть один подтвержденный поляр и еще один источник с похожими рентгеновскими свойствами (см. обсуждение ниже).

Единственным механизмом генерации рентгеновского излучения спустя большое время после вспышки КН является аккреция вещества звезды-донора на БК. Этот механизм объясняет рентгеновское излучение большинства источников КН в нашей выборке, как это подтверждается свойствами их рентгеновских спектров, что позволяет использовать рентгеновское излучение в качестве индикатора для измерения характерного темпа аккреции в этих системах. Как уже обсуждалось выше, основной вклад в рентгеновское излучение вносят пограничный слой вблизи поверхности БК и корона аккреционного диска.

Эмпирически, для описания спектра излучения пограничного слоя в катаклизмических переменных часто успешно применяется модель потока изобарического охлаждения, описывающая остывание газа при постоянном давлении от характерной максимальной температуры $kT_{\max} \sim 10\text{--}60$ кэВ до некоторой минимальной температуры $kT_{\min} \lesssim 1$ кэВ (см., например, Мукаи и др., 2003, 2009; Баскилл и др., 2005; Пандель и др., 2005, 2009; Вада и др., 2017). Интересно отметить, что среди ярких источников, для которых проводился детальный спектральный анализ, наблюдается некоторая дихотомия — в то время как для большинства источников наилучшее описание наблюдаемого спектра достигается моделью изобарического охлаждения, для четырех источников — GK Per, V392 Per, X Ser, V4743 Sgr — это не так. Аппроксимация спектров этих источников степенным законом дает фотонный индекс $\Gamma \sim 1$ (в то время как $\Gamma \sim 2\text{--}3$ для источников, хорошо описываемых моделью изобарического охлаждения). Наблюдаемые различия в форме спектра не коррелируют очевидным образом со светимостью источника. Отметим, что один из четырех источников с жесткими спектрами, GK Per, является подтвержденным промежуточным поляром, а еще один V4743 Sgr — кандидатом в промежуточные поляры (Земко и др., 2016), как природа двух других неизвестна. Можно было бы предположить, что они также являются (промежуточными) полярами, однако такой вывод представляется преждевременным.

Усредненный спектр слабых источников (от которых в обзоре было зарегистрировано менее 50 отсчетов) также является жестким, с фотонным индексом $\Gamma \sim 1$. На основе имеющихся данных

мы не можем предложить обоснованную интерпретацию этого результата, однако отметим, что жесткость спектра может указывать на то, что заметная доля этих источников является (промежуточными) полярами с низким темпом аккреции. Согласно каталогу Риттера и др. (2003), среди них есть один подтвержденный промежуточный поляр (DQ Her) и два кандидата (V533 Her и V2467 Cyg). Исключение этих источников из усреднения не меняет форму среднего спектра. По мере дальнейшего сканирования неба и накопления данных статистика по отдельным источникам увеличится почти в три раза, и станет возможен детальный спектральный анализ большего числа источников, что, вероятно, поможет прояснить механизмы генерации рентгеновского излучения в катаклизмических переменных.

Стационарное и нестационарное термоядерное горение водорода на поверхности аккрецирующего БК

В зависимости от темпа аккреции и массы БК, горение водорода на его поверхности может происходить в стационарном или нестационарном режиме. Как следует из рис. 6, стационарные сверхмягкие рентгеновские источники по темпу аккреции расположены, как и следовало ожидать, в “полосе стабильности”. В то же время все источники КН расположены значительно ниже полосы стабильности, в соответствии с предсказаниями теории термоядерного горения на поверхности БК.

Подчеркнем, что метод отбора, основанный на списке исторических КН, позволяет получить выборку надежных аккрецирующих БК, горение водорода на поверхности которых происходит в нестационарном режиме. Насколько нам известно, такой метод конструирования выборки нами применен впервые.

В целях полноты изложения отметим, что существование “полосы стабильности” все еще является предметом дискуссии. В ряде расчетов предполагается, что термоядерное горение водорода на поверхности БК происходит нестационарно во всем интервале значений темпа аккреции и массы БК (см., например, Приальник и др., 1995; Ярон и др., 2005; Старрфилд и др., 2013). В этих моделях с увеличением темпа аккреции амплитуда вспышек уменьшается, а их частота растет, при этом уменьшается потеря вещества, и такие источники по своим свойствам становятся близки к (квази)стационарным сверхмягким источникам. Обсуждаемые данные SRG/eROZITы не позволяют различить эти два класса моделей.

Сверхмягкое рентгеновское послесвечение КН

Среди 52 источников КН, зарегистрированных в рентгеновском диапазоне, мы нашли четыре сверхмягких рентгеновских источника. Светимость и температура двух из них — V5558 Sgr и V3666 Orh — дают размер излучающей области, совместимый с диапазоном допустимых размеров БК (отметим, что для сверхмягких спектров существует сильное вырождение между температурой и светимостью или размером). Интерпретация их сверхмягкого рентгеновского излучения как результат догорания остаточного водорода на поверхности БК представляется вполне правдоподобной.

Продолжительность фазы рентгеновского послесвечения КН зависит от массы БК и начальной массы оболочки (см., например, Сораисам и др., 2016). Сверхмягкое рентгеновское излучение V5558 Sgr и V3666 Orh детектируется спустя ≈ 13 лет и ≈ 1.6 года после вспышки КН соответственно. Теоретическая зависимость между массой БК и временем послесвечения КН позволяет ограничить массу БК этих источников. Основываясь на теоретических кривых блеска для рентгеновской фазы послесвечения КН Сораисам и др. (2016), мы ожидаем, что у источника V5558 Sgr масса БК не должна превышать $\lesssim 0.8 M_{\odot}$, а у V3666 Orh масса БК $\lesssim 1 M_{\odot}$. Вышеприведенное ограничение на массу БК в V5558 Sgr хорошо согласуется с массой, которая была получена по анализу наклона оптической кривой блеска и по оптической спектроскопии $M_{WD} \approx 0.58-0.63 M_{\odot}$ (Поджиани, 2010).

Для сравнения отметим, что в нашей Галактике известны 3 КН с продолжительностью фазы рентгеновского послесвечения более трех лет: V723 Cas (18–19 лет) (Несс и др., 2008, 2015), GQ Mus (~ 10 лет) (Шенли и др., 1995), V574 Pup (~ 3.2 лет) (Шварц и др., 2011). Таким образом, источник V5558 Sgr является вторым в Галактике по продолжительности фазы рентгеновского послесвечения.

Сверхмягкое рентгеновское излучение от полярнов и их кандидатов

Источник V1500 Cyg является известным полярном в нашей Галактике, и в его спектре, наряду с жестким излучением, присутствует сверхмягкая компонента. SRG/eROZITA детектирует лишь сверхмягкую компоненту в спектре этого источника, а жесткая компонента находится ниже порога чувствительности обзора всего неба. Размер излучающей области сверхмягкой компоненты, $\lesssim 104$ км (68%), значительно меньше размера БК и соответствует размеру полярной области в магнитном полюсе БК (Варнер, 2003). Такая сверхмягкая

компонента часто наблюдается у полярнов (см., например, Рамзи и др., 1996, 2004).

Сверхмягкое рентгеновское излучение от источника V5856 Sgr не может быть связано с рентгеновским послесвечением КН в силу малого размера излучающей поверхности (см. рис. 4). Интересно отметить, что параметры сверхмягкой компоненты в V5856 Sgr идентичны V1500 Cyg. На основании этого можно было бы предположить, что V5856 Sgr также является полярном. Из-за малого числа отсчетов в рентгеновском спектре V5856 Sgr мы не детектируем жесткую компоненту, как и в случае с источником V1500 Cyg. Более строгое обоснование этого предположения требует дальнейших наблюдений в оптическом и рентгеновском диапазонах спектра. Отметим также, что V5856 Sgr был классифицирован как один из самых ярких источников в γ -диапазоне, обнаруженных во время вспышки КН (Ли и др., 2017).

Спектр источника V2491 Cyg пекулярен в том, что это единственный источник из нашей выборки, спектр которого не может быть описан ни одной из однокомпонентных моделей. Хотя источник и не регистрировался как сверхмягкий источник в нашем поиске, для адекватного описания его рентгеновского спектра требуется добавление мягкой чернотельной компоненты с температурой ≈ 65 эВ. На момент наблюдений SRG/eROZITы с момента вспышки КН прошло 12 лет. Масса БК в этой системе составляет $M_{WD} = 1.35 M_{\odot}$ (см. табл. 2). Для таких массивных БК продолжительность фазы рентгеновского послесвечения не превышает \sim месяца (Сораисам и др., 2016). Кроме того, площадь излучающей поверхности сверхмягкого рентгеновского излучения в этом источнике составляет $\approx 6 \times 10^6$ км², что более чем на порядок меньше площади БК $\approx 10^8$ км² для массы $1.35 M_{\odot}$. Эти факты говорят о том, что наблюдаемая сверхмягкая компонента в спектре V2491 Cyg не может быть связана с фазой рентгеновского послесвечения КН.

Сверхмягкое рентгеновское излучение от этого источника детектировалось в спокойном состоянии и раньше. В частности, он наблюдался спутником Suzaku спустя ≈ 2 года после вспышки КН. В этих наблюдениях также была обнаружена сверхмягкая компонента с температурой ≈ 77 эВ и болометрической светимостью $\approx 1.4 \times 10^{35} \times (d/10.5 \text{ кпк})$ эрг/с (см., например, Земко и др., 2015). Среди рассматриваемых гипотез есть и предположение о том, что этот источник является промежуточным полярном. К сожалению, данные SRG/eROZITы не помогают прояснить вопрос о природе этого источника.

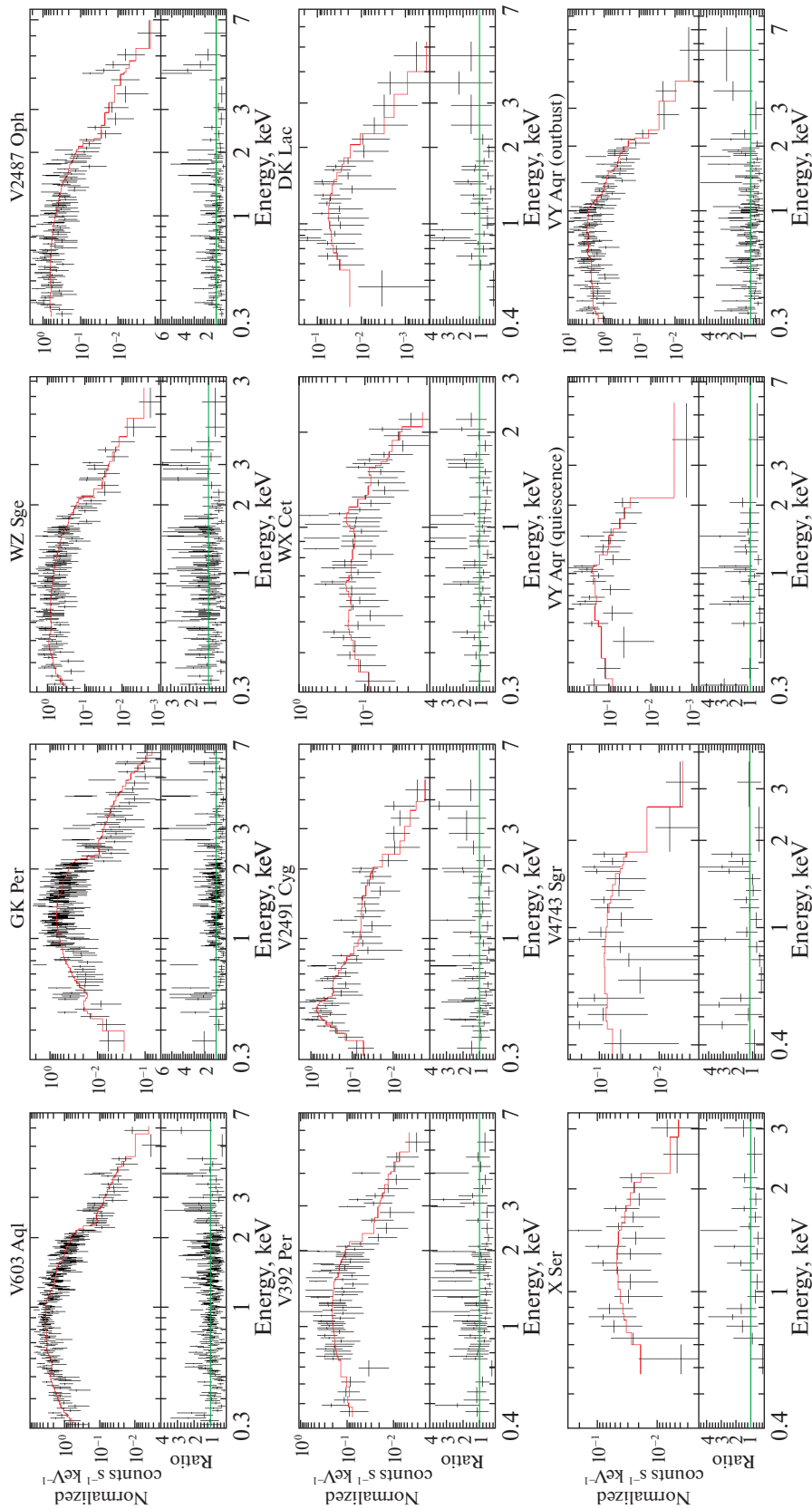


Рис. 7. Рентгеновские спектры ярких источников, от которых зарегистрировано более 50 отсчетов, полученные телескопом SRG/eROSITA. Наилучшая модель, отобранная по информационному критерию Акаике (AIC) из табл. 1, представлена красным цветом. В нижних панелях показано отношение наблюдаемых отсчетов к модельным спектрам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе мы исследовали рентгеновское излучение от исторических КН в нашей Галактике. Мы использовали данные трех обзоров неба орбитальной обсерватории SRG телескопа SRG/eROZITA на половине неба, обработку данных на которой выполняет Российский консорциум телескопа SRG/eROZITA. Наши результаты могут быть кратко сформулированы следующим образом:

1. Из 309 известных исторических КН (рис. 1, 2) рентгеновское излучение было зарегистрировано от 52 источников. Большинство источников находятся в спокойном состоянии — их рентгеновское излучение связано с аккрецией вещества в двойной системе и производится преимущественно в пограничном слое у поверхности БК и в горячей короне аккреционного диска. Рентгеновские светимости составляют $L_X \approx 10^{30} - 10^{34}$ эрг/с в диапазоне 0.3–2.3 кэВ.

2. Мы провели подробный анализ спектров ярких источников, от которых SRG/eROZITA зарегистрировала более 50 отсчетов (11 источников, рис. 7, табл. 1). По свойствам их спектров в диапазоне 0.3–7 кэВ яркие источники можно разделить на две группы. Для большинства (7 из 11) источников наилучшая аппроксимация спектров достигается моделью потока изобарического охлаждения с параметрами, типичными для катаклизмических переменных. Для четырех источников — GK Per, V392 Per, X Ser и V4743 Sgr — модель изобарического охлаждения не применима. Эти источники имеют аномально жесткие спектры с фотонным индексом $\Gamma \sim 1$, в то время как $\Gamma \sim 2-3$ для семи источников, упомянутых выше. Два из этих четырех источников — GK Per и V4743 Sgr, являются промежуточным поляраром и кандидатом в промежуточные полярары. Мы предположили, что два оставшихся источника также могут быть промежуточными полярары, однако имеющихся данных недостаточно, чтобы проверить эту гипотезу.

3. Усредненный спектр слабых источников (менее 50 отсчетов) в диапазоне 0.3–7 кэВ является аномально жестким и хорошо описывается однокомпонентной степенной моделью с фотонным индексом $\Gamma = 0.96^{+0.18}_{-0.17}$ (рис. 3), что напоминает спектры промежуточных поляраров. Интерпретация этого результата требует дальнейших наблюдений, в частности в ходе последующих сканирований неба телескопом SRG/eROZITA.

4. Исторические КН представляют из себя выборку подтвержденных аккрецирующих БК, на поверхности которых термоядерное горение водорода происходит в нестационарном режиме. Их

рентгеновские светимости в спокойном состоянии являются хорошим индикатором темпа аккреции в двойной системе. Мы впервые использовали этот факт для того, чтобы получить распределение по темпу аккреции БК с нестационарным горением водорода на поверхности и сравнили его с распределением по темпу аккреции в стационарных сверхмягких источниках, где горение водорода происходит в стационарном режиме. Полученные распределения (рис. 6) занимают непересекающиеся области по темпу аккреции и количественно согласуются с предсказаниями теории термоядерного горения водорода на поверхности БК.

5. В нашей выборке исторических КН мы нашли четыре источника со сверхмягкими спектрами, у которых отсутствует излучение выше ~ 1 кэВ. Для двух из них — V5558 Sgr и V3666 Oph — параметры чернотельной аппроксимации, в частности, размер излучающей поверхности, указывают на то, что мы имеем дело с рентгеновским послесвечением КН, наблюдаемым через ≈ 13 лет и ≈ 1.6 года после вспышки КН. Один источник — V1500 Cyg — является известным поляраром и в его случае размер излучающей поверхности значительно меньше размера БК и близок к ожидаемому размеру приполярной области замагниченного БК. Такие же параметры сверхмягкого излучения в четвертом источнике, V5856 Sgr, что позволяет предположить, что он также может быть поляраром.

6. Сверхмягкая компонента с похожими параметрами также детектируется в спектре V2491 Cyg, наряду с более жесткой спектральной компонентой. Как уже предлагалось в более ранних работах (см., например, Земко и др., 2015), параметры сверхмягкой компоненты также позволяют предположить, что этот источник может быть промежуточным поляраром.

7. В ходе второго обзора неба, в ноябре 2020 г. телескопом SRG/eROZITA наблюдалась вспышка карликовой новой в источнике VY Aqr, который входит в нашу выборку КН. В силу случайного совпадения рентгеновские наблюдения пришлось на пик оптической кривой блеска. Мы провели детальный анализ рентгеновских спектров этого источника во вспышке и в спокойном состоянии.

8. В целом результаты рентгеновской спектроскопии позволяют предположить, что в нашей выборке исторических КН, детектируемых в рентгеновском диапазоне, некоторую долю могут составлять системы с замагниченными БК. Это предположение будет проверяться в ходе дальнейших сканирований неба телескопом SRG/eROZITA. Также большую важность имеют более детальные оптические исследования этих источников.

Таблица 1. Результаты аппроксимации рентгеновских спектров ярких источников Классических Новых, от которых телескоп eROZITA зарегистрировал более 50 отсчетов

Models	V603 Aql	GK Per	WZ Sge	V2487 Oph	V392 Per	V2491 Cyg	WX Cet	DK Lac	X Ser	V4743 Sgr	VY Aqr(quietse)	VY Aqr(outburst)
tbabs × power law												
N_H [$\times 10^{21}$ см $^{-2}$]	1.52 ± 0.28	2.51 $^{+0.57}$ $_{-0.52}$	0.41 $^{+0.34}$ $_{-0.31}$	1.57 $^{+0.62}$ $_{-0.52}$	1.37 ± 0.71	0.91 $^{+0.93}$ $_{-0.73}$	1.01 $^{+0.99}$ $_{-0.75}$	4.30 $^{+3.98}$ $_{-2.78}$	≤5.04	≤2.34	≤1.1	0.96 ± 0.30
Γ	2.27 ± 0.17	1.01 ± 0.19	1.80 $^{+0.24}$ $_{-0.26}$	2.26 $^{+0.42}$ $_{-0.34}$	0.96 ± 0.26	3.20 $^{+0.99}$ $_{-0.76}$	2.45 $^{+0.71}$ $_{-0.59}$	2.70 $^{+2.01}$ $_{-1.32}$	1.15 $^{+1.82}$ $_{-1.25}$	1.20 $^{+1.36}$ $_{-0.48}$	1.59 $^{+0.53}$ $_{-0.38}$	2.61 ± 0.24
$C - stat/d.o.f.$	317.8/248	252.0/199	126.2/138	143.6/119	84.1/72	89.9/50	42.2/45	23.8/26	12.8/18	18.7/18	31.6/22	141.7/108
α (goodness)	≤10 $^{-5}$	10 $^{-2}$	0.57	≤10 $^{-5}$	0.32	≤10 $^{-5}$	0.54	0.35	0.73	0.48	0.11	≤10 $^{-5}$
AIC	323.8	258.0	132.2	149.6	90.2	95.9	48.2	29.8	18.8	24.7	37.6	147.7
$\log(L_X^{pwr}[\text{эпр/с}])^a$	32.37 $^{+0.06}$ $_{-0.04}$	32.50 ± 0.04	30.00 ± 0.03	35.54 $^{+0.13}$ $_{-0.08}$	33.81 $^{+0.10}$ $_{-0.09}$	34.46 $^{+0.50}$ $_{-0.34}$	30.25 $^{+0.28}$ $_{-0.13}$	32.73 $^{+0.84}$ $_{-0.41}$	33.09 $^{+0.30}$ $_{-0.15}$	33.13 ± 0.16	30.08 $^{+0.14}$ $_{-0.09}$	31.07 $^{+0.16}$ $_{-0.12}$
tbabs × meka												
N_H [$\times 10^{21}$ см $^{-2}$]	0.89 $^{+0.09}$ $_{-0.15}$	3.30 ± 0.21	≤0.02	0.71 ± 0.20	2.35 $^{+0.38}$ $_{-0.36}$	≤0.40	≤1.37	2.96 $^{+1.56}$ $_{-1.34}$	5.50	≤0.10	≤0.87	0.45 ± 0.15
kT [кэВ]	2.02 $^{+0.30}$ $_{-0.21}$	10*	4.62 $^{+1.37}$ $_{-1.58}$	3.05 $^{+1.53}$ $_{-0.64}$	10*	0.97 $^{+0.28}$ $_{-0.22}$	1.37 $^{+0.61}$ $_{-0.30}$	1.67 $^{+5.53}$ $_{-0.88}$	1.52 $^{+1.10}$ $_{-0.50}$	10*	1.36 $^{+1.41}$ $_{-0.29}$	0.80 $^{+0.09}$ $_{-0.06}$
$Z Z_\odot$	≤0.02	≤2	0.40 $^{+0.61}$ $_{-0.37}$	≤0.1	≤3.2	≤5 × 10 $^{-3}$	0.16 $^{+0.27}$ $_{-0.11}$	≤0.2	≤0.14	≤2	0.38 $^{+0.87}$ $_{-0.24}$	0.06 $^{+0.03}$ $_{-0.02}$
$C - stat/d.o.f.$	314.2/247	264.4/199	125.8/137	154.6/118	90.0/72	106.5/49	36.8/44	24.4/25	14.7/17	18.8/18	26.6/21	126.4/107
α (goodness)	≤10 $^{-5}$	9 × 10 $^{-3}$	0.58	10 $^{-2}$	0.12	≤10 $^{-5}$	0.68	0.67	0.56	0.43	0.08	0.11
AIC	322.2	272.4	133.8	162.6	95.0	114.5	44.8	32.4	22.7	26.8	34.6	134.4
$\log(L_X^{mekal}[\text{эпр/с}])^a$	32.29 $^{+0.01}$ $_{-0.02}$	32.52 ± 0.03	30.00 ± 0.07	35.49 ± 0.04	33.80 ± 0.06	34.30 $^{+0.05}$ $_{-0.04}$	30.12 ± 0.08	32.54 $^{+0.22}$ $_{-0.10}$	33.10 ± 0.08	33.13 ± 0.10	29.92 ± 0.10	30.96 ± 0.04
tbabs × mkeflow												
N_H [$\times 10^{21}$ см $^{-2}$]	0.73 ± 0.13		≤0.02	≤0.13		≤0.29	≤0.27	2.93 $^{+1.23}$ $_{-0.86}$			≤0.37	≤0.2
kT_{min} [кэВ]	≤0.19		≤1.06	≤0.92		≤0.25	8* × 10 $^{-3}$	≤0.91			0.95 $^{+1.29}$ $_{-0.75}$	≤0.31
kT_{max} [кэВ]	6.97 $^{+1.53}$ $_{-1.30}$		17.20 $^{+20.33}$ $_{-6.94}$	24.72 $^{+22.63}$ $_{-9.91}$		1.98 $^{+0.83}$ $_{-0.70}$	6.37 $^{+2.71}$ $_{-2.51}$	5.15 $^{+18.69}$ $_{-2.69}$			5.14 $^{+8.35}$ $_{-3.29}$	2.91 $^{+0.45}$ $_{-0.40}$
$Z Z_\odot$	0.19 $^{+0.10}$ $_{-0.08}$		0.32 $^{+0.34}$ $_{-0.19}$	≤0.21		≤3 × 10 $^{-3}$	0.55 $^{+0.59}$ $_{-0.41}$	≤0.35			1*	0.24 $^{+0.09}$ $_{-0.08}$
$\dot{M}_{acc}[\times 10^{-12} M_\odot/\text{год}]$	53.3 $^{+15.2}$ $_{-9.8}$		11.0 $^{+5.0}$ $_{-3.9}$ × 10 $^{-2}$	3.1 $^{+1.0}$ × 10 4		2.3 $^{+2.3}$ $_{-0.8}$ × 10 4	0.4 $^{+0.2}$ $_{-0.1}$	135.1 $^{+983.1}$ $_{-135.1}$			0.5 $^{+1.6}$ $_{-0.3}$	6.6 $^{+2.3}$ $_{-0.9}$
$C - stat/d.o.f.$	287.9/246		123.5/137	113.5/116		101.6/49	37.3/44	23.3/24			24.6/21	109.6/107
α (goodness)	0.11		0.54	0.21		≤10 $^{-5}$	0.66	0.55			0.19	0.45
AIC	297.9		131.5	123.52		101.6	45.3	33.3			31.7	119.6
$\log(L_X^{mekflow}[\text{эпр/с}])^a$	32.23 ± 0.02		29.86 ± 0.05	35.45 ± 0.06		34.20 ± 0.04	30.09 ± 0.07	32.49 $^{+0.33}$ $_{-0.11}$			29.97 $^{+0.13}$ $_{-0.11}$	30.91 $^{+0.04}$ $_{-0.03}$
tbabs × (bbody + meka)												
N_H [$\times 10^{21}$ см $^{-2}$]				4.25 $^{+1.53}$ $_{-1.41}$		3.61 $^{+1.24}$ $_{-1.55}$						
kT_{BB} [эВ]				96 $^{+21}$ $_{-14}$		65 $^{+11}$ $_{-9}$						
kT_{mekal} [кэВ]				6.7 $^{+48.8}$ $_{-2.7}$		10*						
$Z Z_\odot$				1*		1*						
$C - stat/d.o.f.$				116.7/117		44.9/49						
α (goodness)				0.82		0.67						
AIC				127.0		52.9						
$\log(L_{bol}^{BB}[\text{эпр/с}])^a$				36.31 ± 0.61		36.05 $^{+0.81}$ $_{-0.73}$						
$\log(L_X^{mekal}[\text{эпр/с}])^a$				35.54 ± 0.12		34.41 ± 0.12						
R_{BB} [км]				439 $^{+618}$ $_{-289}$		700 $^{+1552}$ $_{-458}$						

* Параметр зафиксирован на указанном значении. (а) — Рентгеновские светимости в диапазоне 0.3–8 кэВ, откорректированные на межзвездное поглощение. При расчете светимостей расстояния до источников использовались из табл. 2. Ошибки параметров приведены на уровне достоверности 1 σ .

Таблица 2. Список рентгеновских источников из каталога SRG/eROSITA, имеющие отождествления с классическими новыми в Галактике

№	Date	Nova	RA (°)	DEC (°)	$R_{\text{err}}(98\%)$ ($''$)	SRGe	"	$N_{\text{H,Gal}}$ (10^{21} cm^{-2})	$E(B-V)$	d (кпк)	M_{WD} (M_{\odot})	L_X (эрг/с)	L_X^0 (эрг/с)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1	12/06/2021 (1)	V1674 Her	284.37953	16.89338	6.87	J185731.1+165336	2.29	2.99	0.72 (1)	—	—	$(2.2 \pm 0.6) \times 10^{31}$	$(4.8 \pm 1.2) \times 10^{31}$
2	18/03/2021 (2)	V1405 Cas	351.20222	61.18732	9.88	J232448.5+611114	4.42	7.07	0.56 ± 0.02 (3)	1.73 ± 0.01 (G)	—	$(6.1 \pm 2.4) \times 10^{30}$	$(1.2 \pm 0.5) \times 10^{31}$
3	29/10/2019 (4)	V659 Sct	279.99787	-10.42678	6.04	J183959.5-102536	6.26	5.37	0.9 (5)	1.97 ± 0.66 (G)	—	$(7.8 \pm 1.6) \times 10^{31}$	$(1.9 \pm 0.4) \times 10^{32}$
4	27/08/2019 (6)	V3890 Sgr	277.68084	-24.01880	13.80	J183043.4-240108	10.92	1.64	0.57 (7)	4.5 (7)	1.3 (a)	$(2.0 \pm 0.6) \times 10^{32}$	$(3.9 \pm 1.2) \times 10^{32}$
5	08/08/2018 (8)	V3666 Oph	265.60063	-20.88580	9.67	J174224.2-205309	1.14	2.88	0.98 (9)	—	—	$(1.5 \pm 0.5) \times 10^{31}$	$(3.8 \pm 1.2) \times 10^{31}$
6	29/04/2018 (10)	V392 Per	70.84108	47.35684	3.37	J044321.9+472125	1.88	5.82	0.72 (11)	3.88 (11)	1.21 (b)	$(1.3 \pm 0.1) \times 10^{33}$	$(2.8 \pm 0.2) \times 10^{33}$
7	19/06/2017 (12)	V612 Sct	277.94124	-14.31627	8.41	J183145.9-141859	2.38	4.37	0.68 (13)	3.99 ± 1.0 (14)	—	$(1.9 \pm 0.5) \times 10^{32}$	$(3.9 \pm 1.1) \times 10^{32}$
8	25/10/2016 (15)	V5856 Sgr	275.22035	-28.37153	7.19	J182052.9-282218	11.59	1.43	0.34 (16)	4.2 (16)	—	$(2.9 \pm 0.6) \times 10^{32}$	$(4.7 \pm 1.0) \times 10^{32}$
9	14/08/2013 (17)	V339 Del	305.87688	20.76760	6.20	J202330.5+204603	1.98	1.30	0.18 (18)	4.5 ± 0.8 (18)	—	$(2.8 \pm 0.6) \times 10^{32}$	$(3.8 \pm 0.8) \times 10^{32}$
10	08/05/2012 (19)	V5590 Sgr	272.76528	-27.29020	8.69	J181103.7-271725	5.57	2.47	—	—	—	$(3.0 \pm 0.8) \times 10^{31}$	$(4.9 \pm 1.3) \times 10^{31}$
11	07/11/2011 (20)	V965 Per	47.81798	37.08439	12.56	J031116.3+370504	2.37	1.09	—	—	—	$(5.2 \pm 2.4) \times 10^{30}$	$(6.8 \pm 3.2) \times 10^{30}$
12	10/04/2008 (21)	V2491 Cyg	295.75797	32.31973	3.52	J194301.9+321911	1.08	3.96	0.45 (22)	15.9 (22)	1.35 (c)	$(1.3 \pm 0.1) \times 10^{34}$	$(2.3 \pm 0.2) \times 10^{34}$
13	14/04/2007 (23)	V5558 Sgr	272.57574	-18.78132	6.79	J181018.2-184653	1.03	14.81	0.8 (24)	1.3 ± 0.3 (25)	0.6 ± 0.03 (d)	$(2.8 \pm 0.6) \times 10^{31}$	$(6.2 \pm 1.4) \times 10^{31}$
14	15/03/2007 (26)	V2467 Cyg	307.05124	41.80980	7.76	J202812.3+414835	1.85	12.52	1.5 (27)	3.1 ± 0.5 (28)	1.04 ± 0.07 (e)	$(1.3 \pm 0.3) \times 10^{32}$	$(4.1 \pm 0.9) \times 10^{32}$
15	12/02/2006 (29)	RS Oph	267.55374	-6.70904	7.08	J175012.9-064233	3.92	2.08	0.73 (30)	1.6 ± 0.3 (31)	1.35 (c)	$(2.8 \pm 0.7) \times 10^{31}$	$(6.1 \pm 1.4) \times 10^{31}$
16	20/09/2002 (32)	V4743 Sgr	285.28921	-22.00149	4.93	J190109.4-220005	1.71	1.02	0.25 (33)	3.9 ± 0.3 (33)	1.15 ± 0.06 (e)	$(4.8 \pm 0.7) \times 10^{32}$	$(6.9 \pm 1.0) \times 10^{32}$
17	15/06/1998 (34)	V2487 Oph	262.99910	-19.23298	2.89	J173159.8-191359	1.63	2.03	0.38 (35)	27.5 ± 3.0 (35)	1.35 ± 0.01 (f)	$(1.4 \pm 0.1) \times 10^{35}$	$(2.4 \pm 0.1) \times 10^{35}$
18	19/02/1992 (36)	V1974 Cyg	307.62953	52.62978	7.79	J203031.1+523747	2.45	2.96	0.36 (30)	1.8 ± 0.1 (30)	—	$(1.3 \pm 0.4) \times 10^{31}$	$(2.1 \pm 0.7) \times 10^{31}$
19	21/03/1988 (37)	PQ And	37.37428	40.04330	6.15	J022929.8+400236	4.18	0.52	—	0.27 ± 0.02 (G)	—	$(8.0 \pm 1.5) \times 10^{29}$	$(9.3 \pm 1.8) \times 10^{29}$
20	21/10/1976 (38)	NQ Vul	292.31150	20.46575	10.46	J192914.8+202757	4.23	10.07	0.92 ± 0.2 (39)	1.6 ± 0.8 (40)	—	$(1.5 \pm 0.5) \times 10^{31}$	$(3.7 \pm 1.3) \times 10^{31}$
21	29/08/1975 (41)	V1500 Cyg	317.90211	48.15137	6.06	J211136.5+480905	4.14	8.76	0.45 (22)	1.5 (22)	1.2 (c)	$(2.9 \pm 0.6) \times 10^{31}$	$(5.1 \pm 1.1) \times 10^{31}$
22	10/07/1971 (42)	IV Cep	331.15760	53.50736	11.10	J220437.8+533027	8.71	5.42	0.65 (22)	3.1 (22)	0.98 (c)	$(2.3 \pm 0.9) \times 10^{31}$	$(4.6 \pm 1.9) \times 10^{31}$
23	15/04/1968 (C)	LV Vul	297.00245	27.17116	8.24	J194800.6+271016	2.69	9.62	0.6 (22)	1.0 (22)	0.98 (c)	$(1.2 \pm 0.3) \times 10^{31}$	$(2.3 \pm 0.5) \times 10^{31}$
24	08/07/1967 (43)	HR Del	310.58375	19.15977	7.99	J204220.1+190935	3.59	0.71	0.17 ± 0.02 (44)	0.96 ± 0.03 (G)	0.67 ± 0.08 (g)	$(5.6 \pm 1.8) \times 10^{30}$	$(7.4 \pm 2.4) \times 10^{30}$
25	04/11/1964 (C)	QZ Aur	82.14550	33.30623	9.89	J052834.9+331822	8.20	4.84	0.55 (45)	2.87 ± 0.89 (G)	—	$(2.9 \pm 1.3) \times 10^{31}$	$(5.5 \pm 2.4) \times 10^{31}$
26	14/09/1963 (C)	AS Psc	22.03717	31.24893	16.82	J012808.9+311456	13.98	0.50	—	—	—	$(5.0 \pm 2.1) \times 10^{30}$	$(5.7 \pm 2.5) \times 10^{30}$
27	01/09/1963 (C)	WX Cet	19.26751	-17.93925	3.55	J011704.2-175621	1.82	0.15	—	0.13 (46)	—	$(8.6 \pm 0.8) \times 10^{29}$	$(9.0 \pm 0.8) \times 10^{29}$
28	06/02/1963 (C)	V533 Her	273.58518	41.85650	6.55	J181420.4+415123	4.95	0.35	0.03 ± 0.02 (44)	1.28 (22)	1.03 (c)	$(1.8 \pm 0.3) \times 10^{31}$	$(1.9 \pm 0.3) \times 10^{31}$
29	07/03/1960 (C)	V446 Her	284.34060	13.24122	7.75	J185721.7+131428	3.10	3.92	0.38 ± 0.04 (44)	1.38 (22)	0.98 (c)	$(2.3 \pm 0.5) \times 10^{31}$	$(3.8 \pm 0.8) \times 10^{31}$
30	21/02/1952 (C)	V1175 Sgr	273.57256	-31.12224	11.16	J181417.4-310720	14.67	1.57	0.29 (47)	5.2 (47)	—	$(1.3 \pm 0.5) \times 10^{32}$	$(1.9 \pm 0.8) \times 10^{32}$
31	14/11/1950 (C)	V630 Cas	357.21651	51.46181	5.93	J234852.0+512743	1.19	1.48	—	3.47 ± 0.63 (G)	—	$(1.1 \pm 0.2) \times 10^{32}$	$(1.5 \pm 0.3) \times 10^{32}$

Таблица 2. Окончание

№	Date	Nova	RA (°)	DEC (°)	R_{err} (98%) ($''$)	SRGe	"	$N_{\text{H,Gal}}$ (10^{21} cm^{-2})	$E(B-V)$	d (кпк)	M_{WD} (M_{\odot})	L_X (эрг/с)	L_X^0 (эрг/с)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
32	23/01/1950(C)	DK Lac	342.44570	53.28933	4.80	J224947.0+531722	1.77	2.70	0.22 ± 0.06 (44)	2.48 ± 0.43 (G)	—	$(1.0 \pm 0.1) \times 10^{32}$	$(1.4 \pm 0.2) \times 10^{32}$
33	18/06/1936(C)	CP Lac	333.92164	55.61772	5.37	J221541.2+553704	1.74	5.84	0.28 ± 0.06 (44)	1.16 ± 0.06 (G)	—	$(1.4 \pm 0.2) \times 10^{31}$	$(2.1 \pm 0.3) \times 10^{31}$
34	12/12/1934(C)	DQ Her	271.87469	45.85761	7.01	J180729.9+455127	4.00	0.32	0.05 ± 0.02 (44)	0.39 ± 0.03 (14)	—	$(1.3 \pm 0.2) \times 10^{30}$	$(1.4 \pm 0.3) \times 10^{30}$
35	01/01/1929(C)	BC Cas	357.82628	60.30350	6.26	J235118.3+601813	5.50	6.31	—	2.04 ± 0.29 (G)	—	$(3.0 \pm 0.6) \times 10^{31}$	$(7.3 \pm 1.5) \times 10^{31}$
36	30/07/1927(C)	EL Aql	284.00943	-3.32041	15.63	J185602.3-031913	9.36	5.72	1.11 (48)	—	—	$(8.8 \pm 4.3) \times 10^{30}$	$(2.4 \pm 1.2) \times 10^{31}$
37	14/06/1926(C)	KY Sgr	270.33869	-26.41412	6.96	J180121.3-262451	12.69	5.48	—	5.3 (47)	—	$(5.2 \pm 1.1) \times 10^{32}$	$(1.2 \pm 0.2) \times 10^{33}$
38	20/08/1920(C)	V476 Cyg	299.60098	53.61866	10.38	J195824.2+533707	3.00	1.77	0.19 (47)	1.8 (47)	—	$(4.8 \pm 2.3) \times 10^{30}$	$(6.6 \pm 3.1) \times 10^{30}$
39	11/03/1919(C)	V1017 Sgr	278.01815	-29.38733	7.58	J183204.4-292314	1.50	1.27	0.39 ± 0.03 (14)	1.27 ± 0.07 (G)	—	$(2.1 \pm 0.5) \times 10^{31}$	$(3.5 \pm 0.9) \times 10^{31}$
40	08/06/1918(C)	V603 Aql	282.22782	0.58420	2.67	J184854.7+003503	2.21	14.39	0.08 ± 0.02 (44)	0.31 ± 0.01 (G)	1.2 ± 0.1 (g)	$(1.1 \pm 0.2) \times 10^{32}$	$(1.3 \pm 0.3) \times 10^{32}$
41	22/11/1913(C)	WZ Sge	301.90201	17.70392	2.92	J200736.5+174214	5.64	2.01	—	0.04 ± 0.0 (49)	0.85 ± 0.04 (h)	$(4.7 \pm 0.2) \times 10^{29}$	$(7.2 \pm 0.3) \times 10^{29}$
42	30/12/1910(C)	DI Lac	338.95185	52.71758	8.21	J223548.4+524303	2.68	3.26	0.26 ± 0.04 (44)	1.64 ± 0.06 (G)	0.68 ± 0.12 (g)	$(1.3 \pm 0.3) \times 10^{31}$	$(2.0 \pm 0.5) \times 10^{31}$
43	21/03/1910(C)	V999 Sgr	270.02649	-27.55126	9.73	J180006.4-273305	14.24	4.62	0.58 (47)	2.6 (47)	—	$(3.2 \pm 1.3) \times 10^{31}$	$(6.2 \pm 2.5) \times 10^{31}$
44	12/08/1907(C)	VY Aqr	318.03833	-8.82741	2.82	J211209.2-084939	4.44	0.59	—	0.1 ± 0.01 (50)	—	$(3.1 \pm 0.1) \times 10^{30}$	$(3.7 \pm 0.2) \times 10^{30}$
45	01/05/1903(C)	X Ser	244.82347	-2.49162	5.58	J161917.6-022930	0.58	0.84	0.08 (51)	3.6 (51)	—	$(2.1 \pm 0.3) \times 10^{32}$	$(2.5 \pm 0.4) \times 10^{32}$
46	21/02/1901(C)	GK Per	52.80107	43.90426	2.73	J033112.3+435415	1.66	2.04	0.34 ± 0.04 (44)	0.44 ± 0.01 (G)	1.15 (c)	$(5.6 \pm 0.2) \times 10^{31}$	$(8.9 \pm 0.3) \times 10^{31}$
47	08/03/1898(C)	V1059 Sgr	285.46137	-13.16212	5.79	J190150.7-130944	3.20	1.34	0.16 (47)	0.6 (47)	—	$(8.6 \pm 1.4) \times 10^{30}$	$(1.1 \pm 0.2) \times 10^{31}$
48	31/12/1891(C)	T Aur	82.99712	30.44636	8.98	J053159.3+302647	2.04	5.18	0.42 ± 0.08 (44)	1.08 ± 0.37 (39)	0.68 (g)	$(5.1 \pm 1.8) \times 10^{30}$	$(8.8 \pm 3.1) \times 10^{30}$
49	24/11/1876(C)	Q Cyg	325.43234	42.83978	7.18	J214143.8+425023	3.45	2.69	0.26 ± 0.06 (44)	1.37 ± 0.05 (G)	—	$(1.2 \pm 0.3) \times 10^{31}$	$(1.8 \pm 0.5) \times 10^{31}$
50	12/05/1866(C)	T CrB	239.87814	25.92129	10.53	J155930.8+255517	10.74	0.48	0.1 ± 0.1 (52)	0.9 ± 0.2 (52)	—	$(1.7 \pm 0.6) \times 10^{30}$	$(2.0 \pm 0.8) \times 10^{30}$
51	27/04/1848(C)	V841 Oph	254.87830	-12.89175	6.27	J165930.8-125330	5.65	1.50	0.44 ± 0.06 (44)	0.82 ± 0.02 (G)	1.3 (g)	$(9.4 \pm 1.8) \times 10^{30}$	$(1.6 \pm 0.3) \times 10^{31}$
52	01/01/1783(C)	WY Sge	293.18008	17.74844	9.36	J193243.2+174454	5.75	10.61	1.6 ± 0.3 (39)	4.2 ± 0.4 (39)	—	$(1.1 \pm 0.4) \times 10^{32}$	$(3.9 \pm 1.3) \times 10^{32}$

Примечание. (1) — номер источника; (2) — время детектирования КН; (3) — наименование КН; (4) — прямое восхождение; (5) — склонение; (6) — ошибка на рентгеновое положение, радиус 98%; (7) — наименования рентгенового источника из каталога SRG/eROSITA; (8) — угловое расстояние между оптической КН и рентгеновским источником; (9) — Галактическое поглощение в направлении источника из N4P; (10) — избыток света; (11) — расстояние до классической новой; (12) — Масса БК; (13) — наблюдаемая рентгеновая светимость в диапазоне 0.3–2.3 кэВ; (14) — рентгеновая светимость в диапазоне 0.3–2.3 кэВ, откорректированная на поглощение. Ссылки: (1) Мунари и др. (2021), (2) Маехара и др. (2021), (3) Айди и др. (2021), (4) Уильямс и др. (2019), (5) Джек и др. (2020), (6) Штрадер и др. (2019), (7) Пэйдж и др. (2020), (8) Уильямс и др. (2018), (9) Мунари и др. (2018), (10) Вагнер и др. (2018), (11) Мунари и др. (2020), (12) Куртенков и др. (2017), (13) Мунари и др. (2017), (14) Оздомез и др. (2018), (15) Станек и др. (2016), (16) Ли и др. (2017), (17) Дарли и др. (2013), (18) Скопал (2019), (19) Айани и др. (2012), (20) Казаровел (2011), (21) Накано и др. (2008), (22) Хачису и др. (2019), (23) Самуель (2007), (24) Руди и др. (2017), (25) Поджиани (2008), (26) Хорнюк и др. (2007), (27) Мазук и др. (2007), (28) Поджиани (2009), (29) Хиросава и др. (2006), (30) Шварц и др. (2011), (31) Шварц и др. (2011), (32) Хасела и др. (2002), (33) Валландингем и др. (2007), (34) Накано и др. (1998), (35) Линч и др. (2000), (36) Коллинз и др. (1992), (37) Херст и др. (1988), (38) Милборн и др. (1976), (39) Оздомез и др. (2016), (40) Славин и др. (1995), (41) Хонда и др. (1975), (42) Кувано и др. (1971), (43) Кэнди и др. (1967), (44) Сельвелли и др. (2013), (45) Вэйг и др. (1994), (46) Хауэлл и др. (2002), (47) Шафтер (1997), (48) Тапперт и др. (2016), (49) Харрисон и др. (2004), (50) Торстенсен (2003), (51) Сельвелли (2004), (52) Шефер (2010), (G) — Каталог Gaia v.2; (C) — Central Bureau for Astronomical Telegrams. Масса БК: (a) Пэйдж и др. (2007); (b) Чохол и др. (2021); (c) Хачису и др. (2019); (d) Поджиани (2010); (e) Хачису и др. (2010); (f) Хачису и др. (2002); (g): Пуэбла и др. (2007); (h): Стингс и др. (2007).

Данное исследование основано на наблюдениях телескопа ePOZITA на борту обсерватории SRG. Обсерватория SRG изготовлена Роскосмосом в интересах Российской академии наук в лице Института космических исследований (ИКИ) в рамках Российской федеральной научной программы с участием Германского центра авиации и космонавтики (DLR). Рентгеновский телескоп SRG/ePOZITA изготовлен консорциумом германских институтов во главе с Институтом внеземной астрофизики Общества им. Макса Планка (MPE) при поддержке DLR. Космический аппарат SRG спроектирован, изготовлен, запущен и управляется НПО им. Лавочкина и его субподрядчиками. Прием научных данных осуществляется комплексом антенн дальней космической связи в Медвежьих озерах, Уссурийске и Байконуре и финансируется Роскосмосом. Используемые в настоящей работе данные телескопа ePOZITA обработаны с помощью программного обеспечения eSASS, разработанного германским консорциумом ePOZITA, и программного обеспечения для обработки и анализа данных, разработанного Российским консорциумом. Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 19-12-00369.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Gaia Collaboration (Gaia Collaboration, T. Prusti, J. de Bruijne, A. Brown, A. Vallenari, C. Babusiaux, et al.), *Astron. Astrophys.* **595**, A1 (2016).
- Gaia Collaboration (Gaia Collaboration, A. Brown, A. Vallenari, T. Prusti, J. H. J. de Bruijne, C. Babusiaux, et al.), *Astron. Astrophys.* **616**, A1 (2018).
- HI4PI Collaboration (HI4PI Collaboration, N. Ben Bekhti, L. Flöer, R. Keller, J. Kerp, D. Lenz, et al.), *Astron. Astrophys.* **594**, A116 (2016).
- Айани и др. (K. Ayani, M. Fujii, and S. Maeno), *Central Bureau Electronic Telegrams* **3140**, 2 (2012).
- Айди и др. (E. Aydi, K. Sokolovsky, L. Chomiuk, J. Strader, A. Kawash, K. Page, et al.), *Astron. Telegram* **14710**, 1 (2021).
- Акаике (H. Akaike), *IEEE Transactions on Automatic Control* **19**, 716 (1974).
- Арно (K. Arnaud), in G.H. Jacoby and J. Barnes (eds.), *Astronomical Data Analysis Software and Systems V*, *Astron. Soc. Pacific Conf. Ser.* (1996).
- Балман и др. (Ş. Balman, J. Krautter, and H. Ögelman), *Astrophys. J.* **499**, 395 (1998).
- Баскилл и др. (D.S. Baskill, P.J. Wheatley, and J.P. Osborne), *MNRAS* **357**, 626 (2005).
- Бодэ, Эванс (M. Bode and A. Evans), *Classical Novae*, Vol. 43 (2008).
- Брекер и др. (K. Brecher, W. Ingham, and P. Morrison), *Astrophys. J.* **213**, 492 (1977).
- Вааген (E.O. Waagen), *AAVSO Alert Notice* **724**, 1 (2020).
- Вагнер и др. (R. Wagner, D. Terndrup, M. Darnley, S. Starrfield, C. Woodward, and M. Henze), *Astron. Telegram* **11588**, 1 (2018).
- Вада и др. (Q. Wada, M. Tsujimoto, K. Ebisawa, and T. Hayashi), *Publ. Astron. Soc. Japan* **69**, 10 (2017).
- Ванландингем и др. (K. Vanlandingham, G. Schwarz, S. Starrfield, C. Woodward, M. Wagner, J. Ness, et al.), in *American Astronomical Society Meeting Abstracts # 210*, Vol. 210 of *Am. Astron. Soc. Meet. Abstracts*, p. 04.02 (2007).
- Варнер (B. Warner), *Cataclysmic Variable Stars* (2003).
- Велан и др. (J. Whelan and J. Iben, I.), *Astrophys. J.* **186**, 1007 (1973).
- Вильмс и др. (J. Wilms, A. Allen, and R. McCray), *Astrophys. J.* **542**, 914 (2000).
- Вульф и др. (W. Wolf, L. Bildsten, J. Brooks, and B. Paxton), *Astrophys. J.* **777**, 136 (2013).
- Вэйт и др. (A. Weight, A. Evans, T. Naylor, J. Wood, and M. Bode), *MNRAS* **266**, 761 (1994).
- Галиуллин и др. (I. Galiullin and M. Gilfanov), *Astron. Astrophys.* **646**, A85 (2021).
- Галлахер и др. (J. Gallagher and S. Starrfield), *Ann. Rev. of Astron. and Astrophys.* **16**, 171 (1978).
- Грейнер и др. (J. Greiner, G. Hasinger, and P. Kahabka), *Astron. Astrophys.* **246**, L17 (1991).
- Грейнер (J. Greiner), *Catalog of Luminous SSSs*, Vol. 472, p. 299 (1996).
- Гувер и др. (T. Güver and F. Özel), *MNRAS* **400**, 2050 (2009).
- Дарнли и др. (M. Darnley, M. Bode, R. Smith, and A. Evans), *Astron. Telegram* **5279**, 1 (2013).
- Джек и др. (D. Jack, K.-P. Schröder, P. Eenens, U. Wolter, J. González-Pérez, J. Schmitt, et al.), *Astronomische Nachrichten* **341**, 781 (2020).
- Ди Стефано и др. (R. Di Stefano and A. Kong), *Astrophys. J.* **592**, 884 (2003).
- Ди Стефано и др. (R. Di Stefano and A. Kong), *Astrophys. J.* **609**, 710 (2004).
- Земко и др. (P. Zemko, K. Mukai, and M. Orio), *Astrophys. J.* **807**, 61 (2015).
- Земко и др. (P. Zemko, M. Orio, K. Mukai, A. Bianchini, S. Ciroi, and V. Cracco), *MNRAS* **460**, 2744 (2016).
- Казаровец (E. Kazarovets), *IAUC* **9247**, 3 (2011).
- Карделли и др. (J. Cardelli, G. Clayton, and J. Mathis), *Astrophys. J.* **345**, 245 (1989).
- Като и др. (M. Kato and I. Hachisu), *Astrophys. J.* **437**, 802 (1994).
- Коллинз и др. (P. Collins, B. Skiff, S. Bus, J. Mattei, G. Hurst, D. Moore, et al.), *IAUC* **5454**, 1 (1992).
- Крейтер и др. (J. Krautter, H. Ögelman, S. Starrfield, R. Wichmann, and E. Pfeiffermann), *Astrophys. J.* **456**, 788 (1996).
- Кувано и др. (Y. Kuwano, K. Ishida, K. Ichimura, M. Mattei, J. Ashbrook, M. Seslar, et al.), *IAUC* **2340**, 1 (1971).
- Куртенков и др. (A. Kurtenkov, T. Tomov, and P. Pessev), *Astron. Telegram* **10527**, 1 (2017).

39. Кэнди и др. (M. Candy, G. Alcock, and R. Zissell), *IAUC* **2022**, 1 (1967).
40. Кэш (W. Cash), *Astrophys. J.* **228**, 939 (1979).
41. Ли и др. (K.-L. Li, B. Metzger, L. Chomiuk, I. Vurm, J. Strader, T. Finzell, et al.), *Nature Astron.* **1**, 697 (2017).
42. Линч и др. (D. Lynch, R. Rudy, S. Mazuk, and R. Puetter), *Astrophys. J.* **541**, 791 (2000).
43. Лонг и др. (K. Long, D. Helfand, and D. Grabelsky), *Astrophys. J.* **248**, 925 (1981).
44. Маехара и др. (H. Maehara, K. Taguchi, Y. Tampo, N. Kojiguchi, and K. Isogai), *Astron. Telegram* **14471**, 1 (2021).
45. Мазук и др. (S. Mazuk, D. Lynch, R. Rudy, R. Russell, R. Pearson, C. Woodward, et al.), *IAUC* **8848**, 1 (2007).
46. Мейер и др. (F. Meyer and E. Meyer-Hofmeister), *Astron. Astrophys.* **132**, 143 (1984).
47. Мейер и др. (F. Meyer and E. Meyer-Hofmeister), *Astron. Astrophys.* **288**, 175 (1994).
48. Метцгер и др. (B. Metzger, R. Hascöet, I. Vurm, A. Beloborodov, L. Chomiuk, J. Sokoloski, et al.), *MNRAS* **442**, 713 (2014).
49. Милборн и др. (S. Milbourn, G. Alcock, E. Harlan, and M. Phillips), *IAUC* **2997**, 1 (1976).
50. Мукаи и др. (K. Mukai, A. Kinkhabwala, J. Peterson, S. Kahn, and F. Paerels), *Astrophys. J. (Letters)* **586**, L77 (2003).
51. Мукаи и др. (K. Mukai, E. Zietsman, and M. Still), *Astrophys. J.* **707**, 652 (2009).
52. Мунари и др. (U. Munari, F.-J. Hamsch, A. Frigo, F. Castellani, G. La Mura, G. Traven, et al.), *Astron. Telegram* **10572**, 1 (2017).
53. Мунари и др. (U. Munari, P. Valisa, F.-J. Hamsch, and A. Frigo), *Astron. Telegram* **11940**, 1 (2018).
54. Мунари и др. (U. Munari, S. Moretti, and A. Maitan), *Astron. Astrophys.* **639**, L10 (2020).
55. Мунари и др. (U. Munari, P. Valisa, and S. Dallaporta), *Astron. Telegram* **14704**, 1 (2021).
56. Мушоцки и др. (R. Mushotzky and A. Szymkowiak), in A. Fabian (ed.), *Cooling Flows in Clusters and Galaxies*, Vol. 229 of NATO Adv. Study Instit. (ASI) Ser. C, p. 53 (1988).
57. Накано и др. (S. Nakano, K. Takamizawa, R. Kushida, Y. Kushida, and T. Kato), *IAUC* **6941**, 1 (1998).
58. Накано и др. (S. Nakano, J. Beize, Z.-W. Jin, X. Gao, H. Yamaoka, K. Haseda, et al.), *IAUC* **8934**, 1 (2008).
59. Несс и др. (J.-U. Ness, G. Schwarz, A. Retter, S. Starrfield, J. Schmitt, N. Gehrels, et al.), *Astrophys. J.* **663**, 505 (2007).
60. Несс и др. (J.-U. Ness, G. Schwarz, S. Starrfield, J. Osborne, K. Page, A. Beardmore, et al.), *Astron. J.* **135**, 1328 (2008).
61. Несс и др. (J.-U. Ness, J. Osborne, A. Dobrotka, K. Page, J. Drake, C. Pinto, et al.), *Astrophys. J.* **733**, 70 (2011).
62. Несс и др. (J.U. Ness, V.P. Goranskij, K.L. Page, J. Osborne, and G. Schwarz), *Astron. Telegram* **8053**, 1 (2015).
63. Номото и др. (K. Nomoto, H. Saio, M. Kato, and I. Hachisu), *Astrophys. J.* **663**, 1269 (2007).
64. Номото (K. Nomoto), *Astrophys. J.* **253**, 798 (1982).
65. Огельман и др. (H. Oegelman, M. Orío, J. Krautter, and S. Starrfield), *Natur* **361**, 331 (1993).
66. Оздонмез и др. (A. Özdönmez, T. Güver, A. Cabrera-Lavers, and T. Ak), *MNRAS* **461**, 1177 (2016).
67. Оздонмез и др. (A. Özdönmez, E. Ege, T. Güver, and T. Ak), *MNRAS* **476**, 4162 (2018).
68. Орио и др. (M. Orío, J. Covington, and H. Ögelman), *Astron. Astrophys.* **373**, 542 (2001).
69. Павлинский и др. (M. Pavlinsky, V. Akimov, V. Levin, I. Lapshov, A. Tkachenko, N. Semena, et al.), in S.L. O'Dell and G. Pareschi (eds.), *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, Vol. 8147 of Soc. of Photo-Optical Instrument. Engin. (SPIE) Conf. Ser., p. 814706 (2011).
70. Пандель и др. (D. Pandel, F. Córdova, K. Mason, and W. Priedhorsky), *Astrophys. J.* **626**, 396 (2005).
71. Паней и др. (J. Panei, L. Althaus, and O. Benvenuto), *Astron. Astrophys.* **353**, 970 (2000).
72. Паттерсон и др. (J. Patterson and J. Raymond), *Astrophys. J.* **292**, 535 (1985a).
73. Паттерсон и др. (J. Patterson and J. Raymond), *Astrophys. J.* **292**, 550 (1985b).
74. Питш и др. (W. Pietsch, J. Fliri, M. Freyberg, J. Greiner, F. Haberl, A. Riffeser, et al.), *Astron. Astrophys.* **442**, 879 (2005).
75. Поджигани (R. Poggiani), *NewA* **13**, 557 (2008).
76. Поджигани (R. Poggiani), *Astron. Nachrichten* **330**, 77 (2009).
77. Поджигани (R. Poggiani), *NewA* **15**, 657 (2010).
78. Предель и др. (P. Predehl, R. Andritschke, V. Arefiev, V. Babyshkin, O. Batanov, W. Becker, et al.), *Astron. Astrophys.* **647**, A1 (2021).
79. Приальник и др. (D. Prialnik and A. Kovetz), *Astrophys. J.* **445**, 789 (1995).
80. Прингл и др. (J. Pringle), *MNRAS* **178**, 195 (1977).
81. Пуэбла и др. (R. Puebla, M. Diaz, and I. Hubeny), *Astron. J.* **134**, 1923 (2007).
82. Пэйдж и др. (K. Page, N. Kuin, A. Beardmore, F. Walter, J. Osborne, C. Markwardt, et al.), *MNRAS* **499**, 4814 (2020).
83. Рамзи и др. (G. Ramsay, M. Cropper, and K. Mason), *MNRAS* **278**, 285 (1996).
84. Рамзи и др. (G. Ramsay and M. Cropper), *MNRAS* **347**, 497 (2004).
85. Руди и др. (R. Rudy, D. Lynch, R. Russell, and C. Woodward), *IAUC* **8884**, 2 (2007).
86. Самусь (N. Samus), *IAUC* **8832**, 3 (2007).
87. Сельвелли и др. (P. Selvelli and R. Gilmozzi), *Astron. Astrophys.* **560**, A49 (2013).
88. Сельвелли (P. Selvelli), *Baltic Astron.* **13**, 93 (2004).
89. Скопал (A. Skopal), *Astrophys. J.* **878**, 28 (2019).
90. Славин и др. (A. Slavin, T. O'Brien, and J. Dunlop), *MNRAS* **276**, 353 (1995).

91. Сораисам и др. (M. Soraisam, M. Gilfanov, W. Wolf, and L. Bildsten), *MNRAS* **455**, 668 (2016).
92. Станек и др. (K. Stanek, C. Kochanek, J. Brown, T.-S. Holoien, J. Shields, B. J. Shappee, et al.), *Astron. Telegram* **9669**, 1 (2016).
93. Старрфилд и др. (S. Starrfield, F. Timmes, W. Hix, C. Iliadis, W. Arnett, C. Meakin, et al.), in R. Di Stefano, M. Orio, and M. Moe (eds.), *Binary Paths to Type Ia Supernovae Explosions* **281**, 166 (2013).
94. Старрфилд (S. Starrfield), in *Classical Novae* **39**, 60 (1989).
95. Стигс и др. (D. Steeghs, S. Howell, C. Knigge, B. Gänsicke, E. Sion, and W. Welsh), *Astrophys. J.* **667**, 442 (2007).
96. 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).
97. Тайленда (R. Tylenda), *AcA* **31**, 267 (1981).
98. Тапперт и др. (C. Tappert, D. Barria, I. Fuentes Morales, N. Vogt, A. Ederoclite, and L. Schmidtobreick), *MNRAS* **462**, 1371 (2016).
99. Торстенсен (J. Thorstensen), *Astron. J.* **126**, 3017 (2003).
100. Трюмпер и др. (J. Trümper, G. Hasinger, B. Aschenbach, H. Bräuninger, U. Briel, W. Burkert, et al.), *Nature* **349**, 579 (1991).
101. Уильямс и др. (S. Williams, M. Darnley, and M. Healy), *Astron. Telegram* **11928**, 1 (2018).
102. Уильямс и др. (S. Williams, M. Darnley, M. Healy, F. Murphy-Glasyher, and C. Ransome), *Astron. Telegram* **13241**, 1 (2019).
103. Фудзимото (M. Fujimoto), *Astrophys. J.* **257**, 767 (1982a).
104. Фудзимото (M. Fujimoto), *Astrophys. J.* **257**, 752 (1982b).
105. Харрисон и др. (T.E. Harrison, J.J. Johnson, B. McArthur, G. Benedict, P. Szkody, S. Howell, et al.), *Astron. J.* **127**, 460 (2004).
106. Харрисон и др. (T. Harrison and R. Campbell), *MNRAS* **459**, 4161 (2016).
107. Хаседа и др. (K. Haseda, D. West, H. Yamaoka, and G. Masi), *IAUC* **7975**, 1 (2002).
108. Хауэлл и др. (S. Howell, R. Fried, P. Szkody, M. Sirk, and G. Schmidt), *PASP* **114**, 748 (2002).
109. Хачису и др. (I. Hachisu, M. Kato, T. Kato, and K. Matsumoto), in B.T. Gänsicke, K. Beuermann, and K. Reinsch (eds.), *The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects*, Vol. 261 of *Astron. Soc. Pacific Conf. Ser.*, p. 629 (2002).
110. Хачису и др. (I. Hachisu and M. Kato), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **167**, 59 (2006).
111. Хачису и др. (I. Hachisu and M. Kato), *Astrophys. J.* **709**, 680 (2010).
112. Хачису и др. (I. Hachisu and M. Kato), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **242**, 18 (2019).
113. Хензе и др. (M. Henze, W. Pietsch, F. Haberl, M. Hernanz, G. Sala, M. Della Valle, et al.), *Astron. Astrophys.* **523**, A89 (2010).
114. Хензе и др. (M. Henze, W. Pietsch, F. Haberl, M. Hernanz, G. Sala, D. Hatzidimitriou, et al.), *Astron. Astrophys.* **533**, A52 (2011).
115. Хензе и др. (M. Henze, W. Pietsch, F. Haberl, M. Della Valle, G. Sala, D. Hatzidimitriou, et al.), *Astron. Astrophys.* **563**, A2 (2014).
116. Херст и др. (G. Hurst, D. McAdam, M. Mobberley, and N. James), *IAUC* **4570**, 2 (1988).
117. Хиллман и др. (Y. Hillman, D. Prialnik, A. Kovetz, and M. Shara), *MNRAS* **446**, 1924 (2015).
118. Хиросава и др. (K. Hirotsawa, H. Narumi, K. Kanai, and W. Renz), *Central Bureau Electronic Telegrams* **399**, 1 (2006).
119. Хонда и др. (M. Honda, K. Osawa, K. Osada, S. Ito, N. Hashimoto, S. Shugarov, et al.), *IAUC* **2826**, 1 (1975).
120. Хорнох и др. (K. Hornoch, K. Sarnecky, J. West, and P. Schmeer), *IAUC* **8821**, 4 (2007).
121. Чомьюк и др. (L. Chomiuk, B. Metzger, and K. Shen), arXiv e-prints, p. arXiv:2011.08751 (2020).
122. Чохол и др. (D. Chochol, S. Shugarov, Ľ. Hambálek, A. Skopal, Š. Parimucha, and P. Dubovský), *The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects V*, V. 2–7, 29 (2021).
123. Шакура и др. (N. Shakura and R. Sunyaev), *Adv. Space Res.* **8**, 135 (1988).
124. Шафтер (A. Shafter), *Astrophys. J.* **487**, 226 (1997).
125. Шварц и др. (D. Swartz, K. Ghosh, V. Suleimanov, A. Tennant, and K. Wu), *Astrophys. J.* **574**, 382 (2002).
126. Шварц и др. (G.J. Schwarz, J.-U. Ness, J. Osborne, K. Page, P. Evans, A.P. Beardmore, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **197**, 31 (2011).
127. Шенли и др. (L. Shanley, H. Ogelman, J. Gallagher, M. Orio, and J. Krautter), *Astrophys. J. (Lett.)* **438**, L95 (1995).
128. Шефер (B. Schaefer), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **187**, 275 (2010).
129. Штрадер и др. (J. Strader, L. Chomiuk, E. Aydi, A. Kawash, J. Miller, K. Sokolovsky, et al.), *Astron. Telegram* **13047**, 1 (2019).
130. Эрнанс и др. (M. Hernanz and G. Sala), *Science* **298**, 393 (2002).
131. Эрнанс и др. (M. Hernanz and G. Sala), *Astron. Nachrichten* **331**, 169 (2010).
132. Ярон и др. (O. Yaron, D. Prialnik, M. Shara, and A. Kovetz), *Astrophys. J.* **623**, 398 (2005).
133. ван ден Хёвел и др. (E. van den Heuvel, D. Bhattacharya, K. Nomoto, and S. Rappaport), *Astron. Astrophys.* **262**, 97 (1992).