

ОБНАРУЖЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РЯДА ТРАНЗИЕНТОВ НА ТЕЛЕСКОПАХ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ МАСТЕР НА ПРИМЕРЕ MASTER OT J044907.58+705812.7

© 2025 г. В. М. Липунов^{1,2,*}, П. В. Балануца^{2,3}, Е. П. Павленко⁴, А. А. Сосновский⁴,
А. Н. Тарасенков², И. Е. Панченко², К. А. Антонюк⁴, О. И. Антонюк⁴, О. А. Гресс^{5,2},
А. С. Кузнецов^{1,2}, К. К. Жирков^{1,2}, Н. В. Тюрина², А. Р. Часовников^{1,2}, Г. А. Антипов²,
Е. С. Горбовской², А. Н. Юдин², В. В. Тополев^{1,2}, Д. В. Черясов², Д. М. Власенко^{1,2},
Я. Кечин^{1,2}, В. А. Сеник², А. Ф. Июдин⁶, Н. М. Буднев⁵, А. Г. Тлатов⁷, К. А. Ветров²,
М. А. Гуляев², В. В. Чазов², В. В. Владимиров², Д. С. Зимнухов²

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга, Москва, Россия

³Научно-исследовательский центр Курчатовский институт, Москва, Россия

⁴Федеральное государственное бюджетное учреждение Российской академии наук Крымская Астрофизическая Обсерватория, п. Научный, Россия

⁵Иркутский государственный университет, Институт прикладной физики, Иркутск, Россия

⁶Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына, Москва, Россия

⁷Главная астрономическая обсерватория Российской академии наук, Кисловодская Горная астрономическая станция, Кисловодск, Россия

*e-mail: lipunov@sai.msu.ru

Поступила в редакцию 23.08.2024 г.

После доработки 05.11.2024 г.

Принята к публикации 11.11.2024 г.

В работе представлены детали обнаружения нового объекта MASTER OT J044907.58+705812.7 (AT2024aaf), найденного 14 января 2024 г. во время регулярного обзора на телескопе МАСТЕР–Тунка Глобальной сети МАСТЕР МГУ. Дополнительная фотометрия объекта получена в ходе совместных наблюдений на АЗТ–11 и 2.6–м ЗТШ КРАО РАН, МАСТЕР–Тунка и МАСТЕР–Кисловодск. Большая амплитуда ($> 7^m$), голубой цвет в максимуме, колебания блеска во вспышке с характерным временем около 0.06^d , длительное (не менее 50 дней) возвращение к спокойному состоянию, наличие по крайней мере четырех повторных поярчаний (ребрайтенингов) дает основание классифицировать объект как карликовую новую типа WZ Sge с многократными поярчаниями. В статье приведены также детали обнаружения вспышек других карликовых новых: MASTER OT J195416.74+494421.1, MASTER OT J150719.46–283114.9, MASTER OT J185835.32–354042.2, MASTER OT J174714.38+150048.1, и MASTER OT J065054.42+593625.5, как пример работы программного обеспечения обработки широкопольных изображений и выделения на них новых и переменных источников в режиме реального времени.

Ключевые слова: катаклизмические переменные, карликовые новые, звезды типа WZ Sge, транзиенты, роботизированные телескопы, MASTER OT J044907.58 +705812

DOI: 10.31857/S0004629925020026, EDN: GHVUCJ

1. ВВЕДЕНИЕ

Карликовые новые — подкласс катаклизмических переменных (КП), показывающих регулярные вспышки. От остальных КП их отличает регулярность быстрого увеличения блеска источника, обусловленная существованием аккреционного диска. Вспышки карликовых новых происходят

в двойных звездных системах, где одним из компонентов является немагнитный белый карлик, на который идет аккреция с соседней маломассивной звезды, заполняющей свою полость Роша [1–6]. Темп потери массы вторичным компонентом существенно выше, чем темп аккреции на белый карлик, поэтому вещество скапливается в аккреционном диске, нагревая его. При достижении критиче-

ской температуры, вязкость вещества скачкообразно меняется, благодаря чему угловой момент начинает эффективно переноситься к внешнему краю диска, и темп аккреции увеличивается, происходит вспышка. После этого, как правило, радиус аккрецирующего диска увеличивается, температура падает, вязкость уменьшается, и темп аккреции снижается. Такой процесс может происходить с частотой от нескольких суток до нескольких десятилетий [7–10].

В зависимости от типа аккреции, ее темпа, расстояния между компонентами, величины магнитного поля, спектрального класса и химического состава соседа увеличение блеска системы за счет процессов в аккреционном диске вокруг белого карлика наблюдается с различными характеристиками (период, амплитуда, цветовые характеристики). Одна из наиболее значительных корреляций — чем больше амплитуда вспышки, тем больше период между ними — подтверждает то, что вспышки происходят из накопившегося за длительный период аккреции вещества.

КП с орбитальными периодами от 76 мин до 3.18 час [11] относятся к карликовым новым типа SU UMa [12]. Их определяющая особенность — два типа вспышек: “нормальные” и “сверхвспышки”. Во время сверхвспышек наблюдаются так называемые сверхгорбы — колебания блеска с периодом на несколько процентов больше орбитального периода. Особую группу звезд типа SU UMa составляют карликовые новые типа WZ Sge. Они характеризуются большой амплитудой вспышки (6^m – 8^m против 2^m – 5^m у обычных звезд типа SU UMa), редкими появлениями (десятилетия), наиболее короткими среди звезд типа SU UMa орбитальными периодами (в большинстве случаев короче 0.06^d), длительным возвращением к спокойному состоянию.

На телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ в полностью автоматическом режиме, благодаря программному обеспечению по обработке и идентификации транзиентных оптических источников в реальном времени [13–16], за последние годы обнаружено несколько тысяч транзиентов, среди которых около половины — вспышки карликовых новых звезд [17]. Для нескольких из этих вспышек были проведены дополнительные обширные исследования в КРАО РАН и других обсерваториях, в ходе которых были получены физические параметры систем — орбитальный период (и/или периоды сверхгорбов), отношения масс, сделан вывод об их принадлежности к определенному подклассу КП и эволюционном статусе [18–23].

В настоящей работе представлены результаты фотометрических наблюдений карликовой новой MASTER OT J044907.58 +705812.7 [24] и других транзиентов, открытых на телескопах Глобальной сети МАСТЕР.

2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОВЕДЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕЛЕСКОПАХ-РОБОТАХ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ МАСТЕР И АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ТРАНЗИЕНТОВ

Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР МГУ, созданная для поиска, обнаружения и исследования астрофизических источников высоких энергий таких как гамма-всплески [25–30], гравитационно-волновые всплески [31–34], источники нейтрино высоких и сверхвысоких энергий [35, 36], быстрые радиовспышки FRB [15] и другие (в том числе нестационарные процессы в двойных системах), проводит наблюдения каждую ночь в алертном и инспекционном режимах автоматически по целеуказаниям GCN, а также регулярный обзор неба в оставшееся время [17]. Идентичное приемное оборудование на всех телескопах сети МАСТЕР позволяет автоматически отслеживать сообщения об алертах 24 часа в сутки и оперативно проводить наблюдения на различных телескопах сети, обеспечивая получение непрерывной кривой блеска в одной фотометрической системе и ее анализ [17, 37], а уникальная база данных изображений северного (с 2002 г.) и южного (с 2012 г.) неба дает возможность оперативно проводить классификацию объектов по архиву всех снимков сети МАСТЕР по запрашиваемым координатам (целеуказанию).

Для автоматического обнаружения нового/временного источника и подтверждения регистрации вспышки/антивспышки необходимо минимум 2 кадра с источником за ночь со смещением между их центрами для исключения горячих пикселей и космических частиц из списка кандидатов в транзиенты. Длинные ряды данных за ночь (например, в случае алертных наблюдений гамма-всплесков, мониторинга V404 Cyg, блазара ТХС+56 и других) позволяют сразу классифицировать многие обнаруженные в это время объекты по типам. В результате, каждую ночь помимо основных задач детектируются оптические переменные источники разных типов: вспышки блазаров и квазаров [38–43], сверхновые различных типов [44], экзотические яркие красные новые [45], КП, включающие классические новые звезды [46–48], полярны [49], карликовые новые [18–22, 50]; вспышки красных карликов [51], звезды типа R CrB [52], выделяются системы типа ϵ Aur [53], а также астероиды и кометы [17, 54].

3. ВСПЫШКИ КАРЛИКОВЫХ НОВЫХ

Этот тип транзиентов составляет больше половины объектов, регистрируемых МАСТЕРом, и представляет значительный интерес для последующих, более подробных исследований. Ниже приведены несколько примеров таких обнаружений.

*Карликовая новая*¹ MASTER OT J195416.74+494421.1 с амплитудой более 5.3^m , найденная Кисловодским МАСТЕРом в марте 2019 г. (рис. 1). Блеск системы в момент обнаружения составлял 16.7^m . В качестве опорного используется изображение, полученное с пределом 19.3^m в 2019 г. (МАСТЕР–Кисловодск), ближайшее по времени наблюдение без регистрации объекта, с пределом 18.3^m , получено за день до обнаружения в Крыму (МАСТЕР–Таврида, 2019.03.21 01:31:59 UT). В базе данных VIZIER в радиусе $5''$ присутствовал только источник из каталога Pan-STARRS ($r_{mag} = 21.6^m$), что дает амплитуду вспышки более 5^m .

Вспышка карликовой новой типа WZ Sge MASTER OT J150719.46–283114.9 (AT2020bre) с амплитудой более 7.2^m обнаружена на телескопе МАСТЕР–IAC [55] 2020.02.01 03:50:00 UT (рис. 2). Объект виден на четырех изображениях с блеском около 14.8^m (экспозиции по 60 с, предел на каждом кадре 18.7^m , время начала экспозиций 2020.02.01 (03:50:00, 04:02:00) UT и 2020.02.02 (03:56:48, 04:08:42) UT. Опорное изображение использовано за 2019 г. По данным архива МАСТЕРа с 2010 г., паломарских обзоров и баз VIZIER, AAVSO более ранних вспышек зарегистрировано не было.

На предыдущих снимках МАСТЕРа этой части неба, а также в базах VIZIER, AAVSO вспышек не обнаружено. Объект виден 12 и 13 апреля 2018 г. с одинаковым блеском, что исключает классификацию оптического источника гамма-всплеска, всплеска-сироты [28] и вспышку красного карлика, и накладывает ограничение на фазу взрыва: не растущая часть кривой блеска, а максимум или пост-максимум. Отсутствие галактики исключает Сверхновую любого типа и Кilonóвую (чья родительская галактика всегда видна). Белый цвет ($m_V = 16.8^m$, $m_I = 16.9^m$ 2018.04.13 (22:33:38–22:49:27) UT, по 3 экспозиции в каждом изображении длительностью 180 с) и отсутствие на других изображениях за 9 лет (последний снимок до вспышки 17 сентября 2017 г., первый снимок после активной фазы 3 сентября 2018 г.) на МАСТЕРе исключает оставшиеся варианты кроме Новой или карликовой новой, под которой в настоящее время объект записан в AAVSO.

Вспышка Новой/карликовой новой MASTER OT J185835.32–354042.2 обнаружена 12 апреля 2018 г. (рис. 3) с блеском 16.7^m на телескопе МАСТЕР–SAAO [56].

Вспышка карликовой новой MASTER OT J174714.38+150048.1 в 2024 г. обнаружена 5 сентября 2024 г. во время регулярного обзора в Крыму (МАСТЕР–Таврида, 7 изображений за эту ночь). Блеск объекта в текущем актив-

ном состоянии составил 17.1^m ($m_{lim} = 19.4^m$). Предыдущие вспышки, включая 2020njy (17.4^m), представлены на кривой блеска (рис. 4).

Вспышка карликовой новой типа WZ Sge MASTER OT J065054.42+593625.5 [57] обнаружена 2024.10.04 в момент 16:07:00 UT телескопом МАСТЕР–Таврида². В базе данных VIZIER по этим координатам находится объект из каталогов GSC2.3.2 ($j_{mag} = 21.6^m$, в красном фильтре слабее предела), Pan-STARRs (близкая к пропуску матриц МАСТЕРа $r_{mag} = 21.4^m$, в базе МАСТЕРа нет объектов ярче 20.5^m , что в совокупности дает амплитуду вспышки более 8 величин.

Объект также был обнаружен³ одним из телескопов GOTO [58] и наблюдался на различных инструментах. Поток в рентгене измерен детекторами Einstein Probe [59] 6 октября ($F = 8.1^{+1.9}_{-1.4} \times 10^{-14}$ эрг/с/см² в диапазоне 0.5–10 кэВ) и 11 октября на Swift-XRT [60] ($F = (8.9 \pm 3.7) \times 10^{-14}$ эрг/с/см², тот же диапазон). Спектр карликовой новой типа WZ Sge получен 8 октября (NOT/ALFOSC, диапазон 350–950 нм) и LT/SPRAT, 400–800 нм, подтверждающая Галактическую принадлежность объекта (рис. 5).

4. ОБНАРУЖЕНИЕ ВСПЫШКИ MASTER OT J044907.58+705812.7 И ЕЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Объект MASTER OT J044907.58+705812.7 (AT2024aaf) [24] был впервые обнаружен телескопом МАСТЕР–Тунка во время регулярного обзора северного неба 14 января 2024 г. с блеском 16.6^m . По данным архива МАСТЕРа с 2005.04.11 (рис. 6), VIZIER (DSS, Pan-STARRs), поярчаний объекта зарегистрировано не было. ATLAS [61] сообщил⁴, что на его кадрах, полученных 2024.01.04, объект обнаружен, однако он был неверно классифицирован как сверхновая, и телеграммы об открытии опубликовано не было. Анализ данных космической обсерватории TESS [62] за 2019–2023 г. с помощью пакета Lightkurve [63] показал, что объект находился под пределом чувствительности аппарата и до вспышки 2024 г. не проявлял активности. CRTS [64] не проводил обзор в этих широтах.

После нашей публикации в TNS [24] ASASSN нашел источник на своих изображениях и добавил ее в AAVSO [65], в дальнейшем появилась фотометрия январской вспышки (с 2024.01.04.390 UT) у ATLASa как потенциально сверхновой, и GAIA 29 февраля опубликовала отчет о наблюдениях за 7 января.

² <https://www.wis-tns.org/object/2024xhn>

³ <https://www.astronomerstelegam.org/?read=16842>

⁴ <https://www.flickr.com/photos/snimages/53502503728/>

¹ <https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=686856>

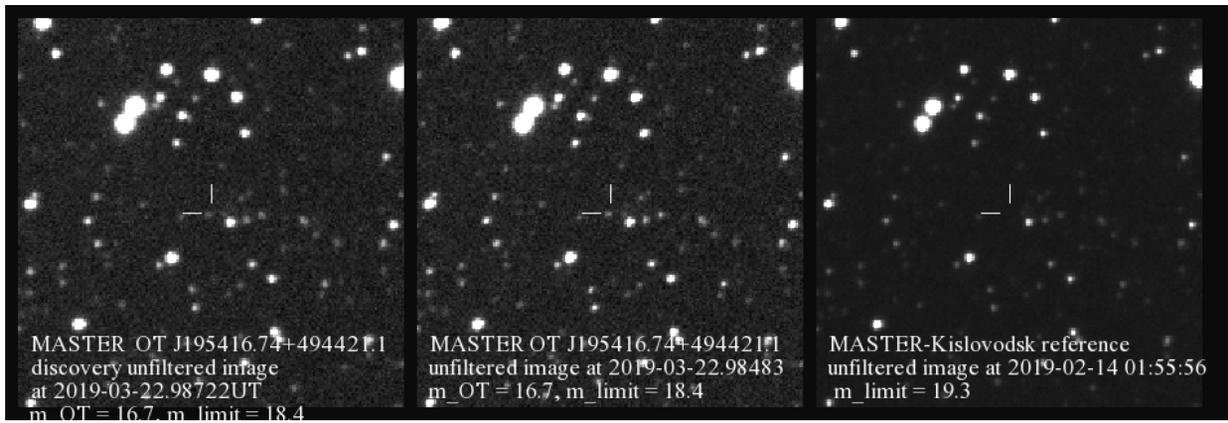


Рис. 1. MASTER OT J195416.74+494421.1 в момент обнаружения 2019.03.22.98483 UT и для сравнения (справа) — архивный снимок, полученный 2019.02.14 01:55:56 UT с пределом 19.3^m



Рис. 2. MASTER OT J150719.46-283114.9 в момент обнаружения. Справа — опорное изображение, полученное 2019.06.09.89366 UT с пределом $m_{lim} = 18.5^m$

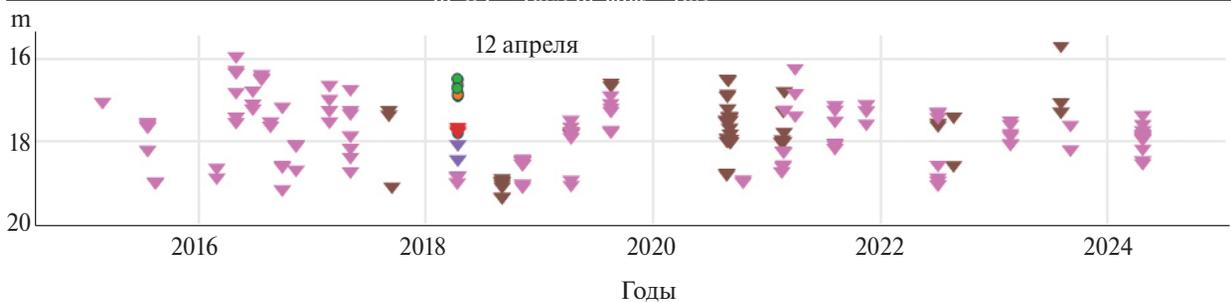


Рис. 3. Изображение MASTER OT J185835.32–354042.2 в момент обнаружения вспышки и один из опорных снимков (верхняя панель, справа). На нижней панели показаны пределы на изображениях с 2015 г. по 2024 г., полученные в Аргентине и ЮАР (МАСТЕР-OAFA, МАСТЕР-SAAO)

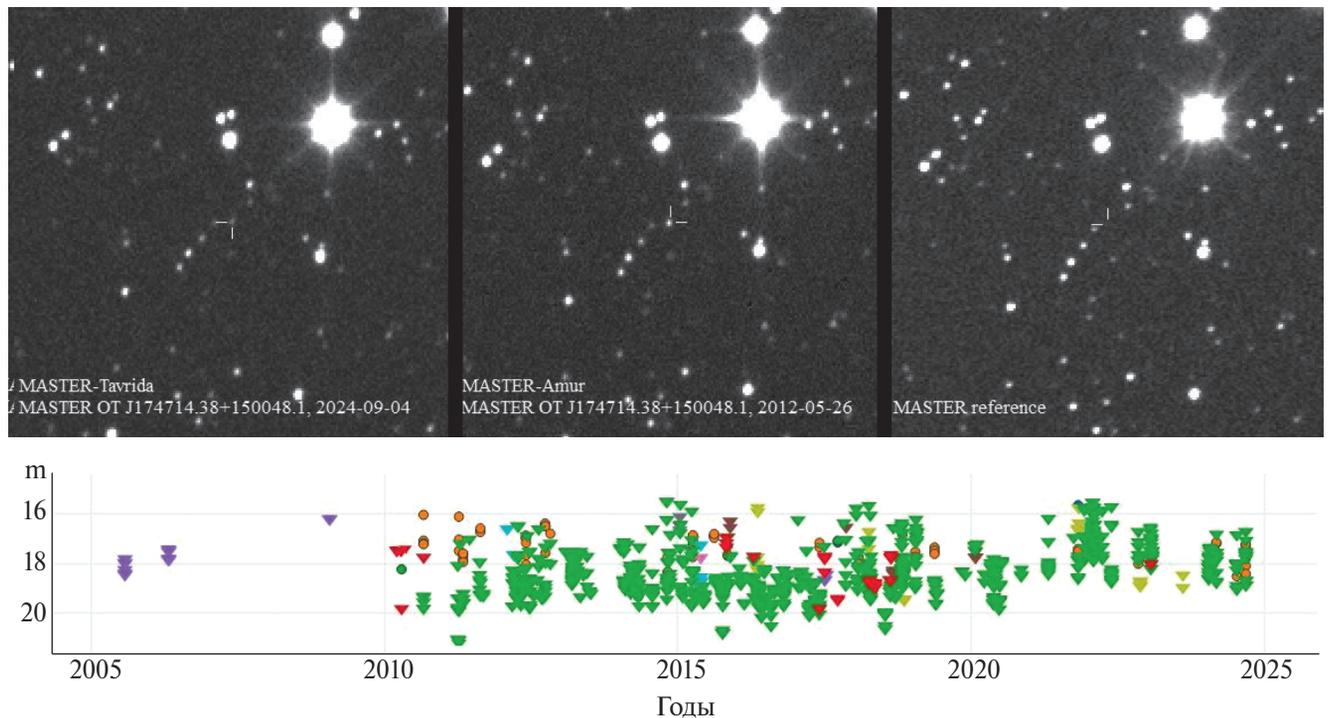


Рис. 4. Изображения MASTER OT J174714.38+150048.1 в моменты вспышек в 2024 г. и 2012 г. и опорный снимок (вверху, справа). Внизу представлены кривая блеска и пределы в белом свете, разными цветами показаны значения величин, полученные на станциях МАСТЕР–Амур, МАСТЕР–Тунка, МАСТЕР–Кисловодск, МАСТЕР–Таврида, МАСТЕР–ЮАР и МАСТЕР–IAC

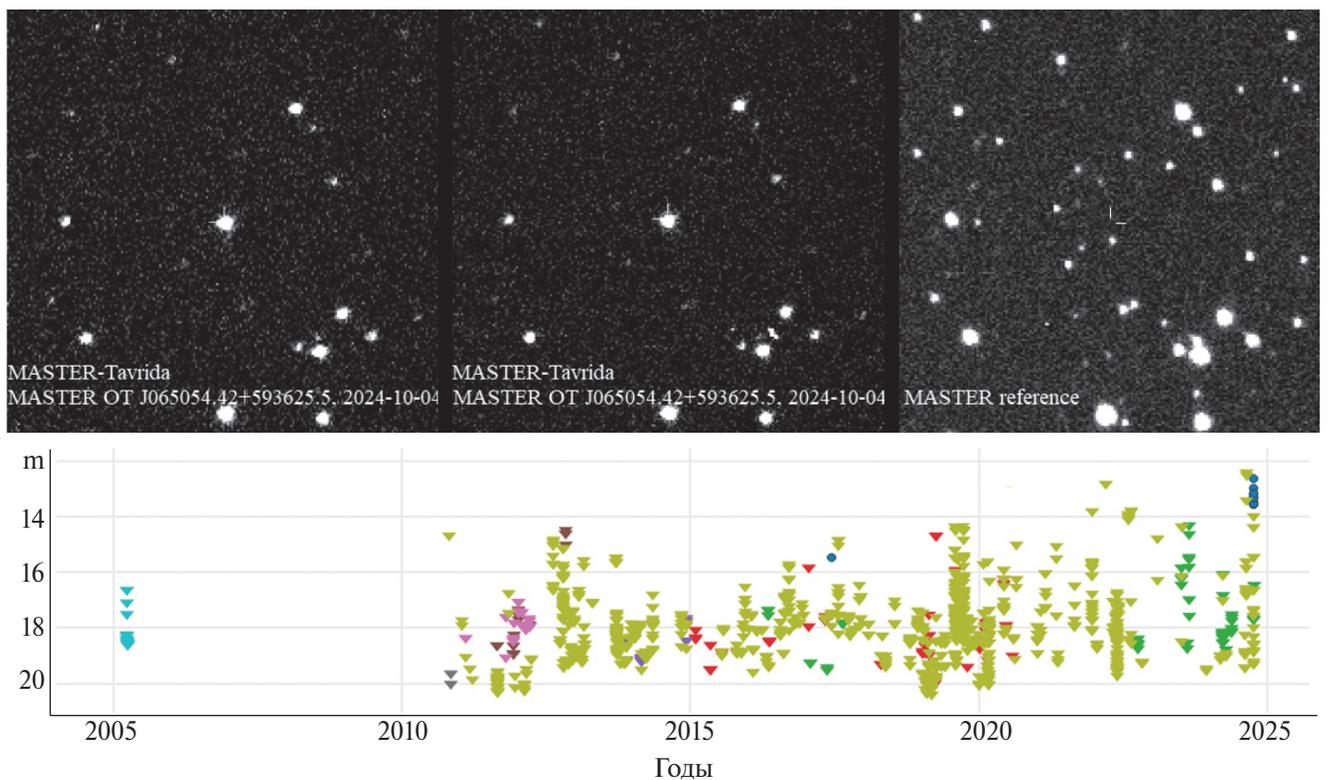


Рис. 5. Вспышка MASTER OT J065054.42+593625.5 и кадр сравнения с пределом 20^m (вверху, справа). Внизу представлены кривая блеска и пределы объекта по изображениям архива МАСТЕРа с 2006 г.

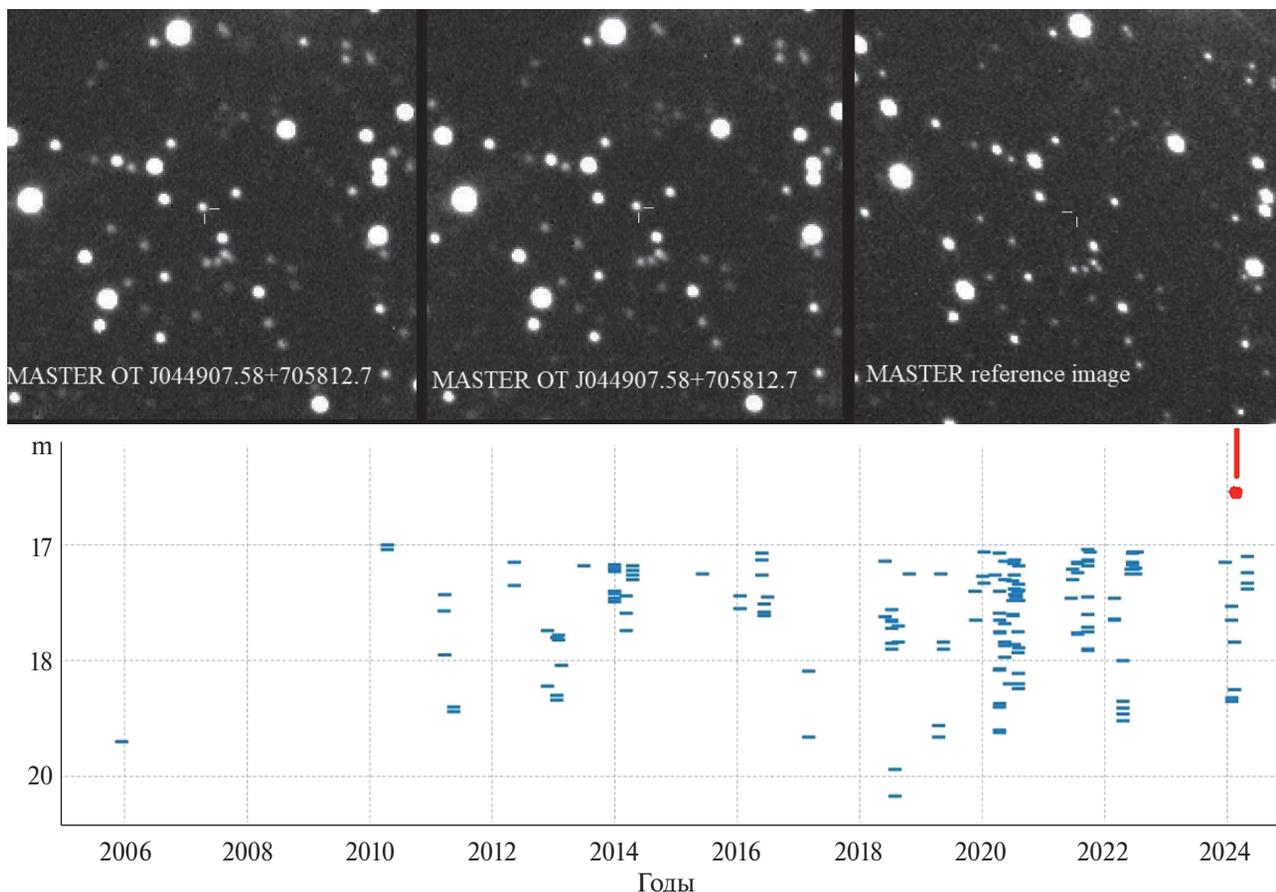


Рис. 6. Вспышка MASTER OT J044907.58+705812.7 и опорный снимок в белом свете (вверху, справа). Внизу — пределы на изображениях из архива МАСТЕРа за период 2006–2024 гг., иллюстрирующие редкость таких состояний в системе (первая регистрация вспышки в истории наблюдений)

4.1. Первые оценки блеска

С момента обнаружения объекта MASTER OT J044907.58+705812.7 проводились его мониторинговые наблюдения на телескопах МАСТЕР–Тунка и МАСТЕР–Кисловодск в полосах *BVRI*, а также в широкой полосе *W* (без фильтра) (табл. 1). Наблюдения проводились в режиме сведенных труб, поэтому МАСТЕР получал синхронные оценки блеска звезды в двух фотометрических полосах.

Фотометрия производилась в специализированной программе AstroimageJ [66]. Данная программа разработана специально для прецизионной апертурной фотометрии и позволяет учесть особенности ПЗС-матрицы телескопа, неоднород-

ность фона по кадру и атмосферное поглощение. Программа позволяет исследовать поведение звезд сравнения и отбросить те из них, которые окажутся переменными. При фотометрии MASTER OT J044907.58+705812.7 в качестве стандартов использовались звезды поля, отобранные так, чтобы их звездные величины и показатели цвета были близки к таковым у исследуемого объекта. Для кадров, полученных без фильтра в качестве звездных величин стандартов брались *G*-величины из Gaia DR3 [67], а для *BVRI* фотометрии использовались величины стандартов, полученные на основе спектроскопии низкого разрешения методом синтетической фотометрии и опубликованные в работе [67].

Таблица 1. Журнал наблюдений MASTER OT J044907.58+705812.7 от 14.01.2024 (JD 2460000+)

Обсерватория	HJD, начало	HJD, конец	Фильтр	<i>N</i>	σ
МАСТЕР–Кисловодск	324.25869	342.35310	<i>B</i>	24	0.17
МАСТЕР–Кисловодск	324.25870	345.17925	<i>V</i>	28	0.19
МАСТЕР–Кисловодск	324.23998	340.16455	<i>R</i>	29	0.19
МАСТЕР–Кисловодск	324.23998	345.17228	<i>I</i>	34	0.26
МАСТЕР–Кисловодск	324.16100	328.24549	<i>W</i>	18	0.16
МАСТЕР–Тунка	323.97810	324.45759	<i>W</i>	147	0.02

Примечание. σ — средняя точность наблюдений в звездных величинах.

В результате была получена многоцветная фотометрия объекта в полосах $BVRI$ и без фильтра за период более 50 дней мониторинга. В общей сложности получено 280 оценок блеска. Кривая блеска в высокой степени (до 0.1^m) согласуется с наблюдениями в КрАО (общая кривая блеска приведена на рис. 7).

4.2. Наблюдения MASTER OT J044907.58+705812.7 в КрАО

Спустя трое суток после обнаружения объекта, в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) на 1.25-м телескопе АЗТ-11 с помощью ПЗС Greateyes ELSE-i 2k×2k VI MID были выполнены многоцветные наблюдения в полосах фотометрической системы Джонсона–Казинса $UBVR_cI_c$ или без применения светофильтров. Наблюдения проводились в течение 14 ночей с 17 января по 14 марта, в последнюю ночь — на 2.6-м телескопе ЗТШ также без светофильтров (см. журнал наблюдений в табл. 2) с ПЗС Greateyes ELSE-i 1K×1K VI MID. Мы использовали пакет MAXIM DL для апертурной фотометрии после стандартной обработки (учета байеса, темнового сигнала, плоского поля). Блеск объекта измерялся относительно трех звезд сравнения: USNO B1.0 1609–0062095 ($B_2 = 17.49^m$, $R_2 = 16.21^m$, $I = 15.91^m$); 1609–0062067 ($B_2 = 16.97^m$, $R_2 = 16.09^m$, $I = 15.88^m$); 1609–0062077 ($B_2 = 16.63^m$,

$R_2 = 15.61^m$, $I = 15.28^m$). Всего за время наблюдений было получено 510 оценок блеска.

4.3. Анализ кривых блеска

На рис. 7 представлена общая долговременная кривая блеска в наиболее представительной полосе R (или без фильтра) по данным наблюдений телескопов КрАО и МАСТЕРА с привлечением архивных данных ZTF [68].

Около JD 2460340 было зарегистрировано повторное поярчение (rebrightening) и последующее быстрое ослабление блеска на $\sim 2.5^m$ за двое суток в полосе, близкой к R_c . Показатели цвета свидетельствуют о голубом цвете объекта в максимуме кривой блеска и о постепенном его покраснении по мере ослабления. С момента первой оценки блеска, полученной МАСТЕРОм, и до последней оценки, сделанной в КрАО, объект ослабел на $\sim 3.5^m$ и достиг $R \sim 19.8^m$. Амплитуда вспышки составила 5.5^m (или 6^m , если принять во внимание единичную оценку ZTF), однако объект в конце наблюдений еще эволюционировал к своему довыспышечному уровню, достигнув только 22^m , поскольку не был обнаружен на Pan-STARRS с пороговой величиной 24^m . В этом случае амплитуда вспышки должна быть 7.5^m – 8^m .

На стадии ослабления блеска были зарегистрированы четыре повторных поярчения (rebrightenings) с амплитудой около 2.5^m и частотой воспроизведения $\sim 4.8^d$. Интересно, что

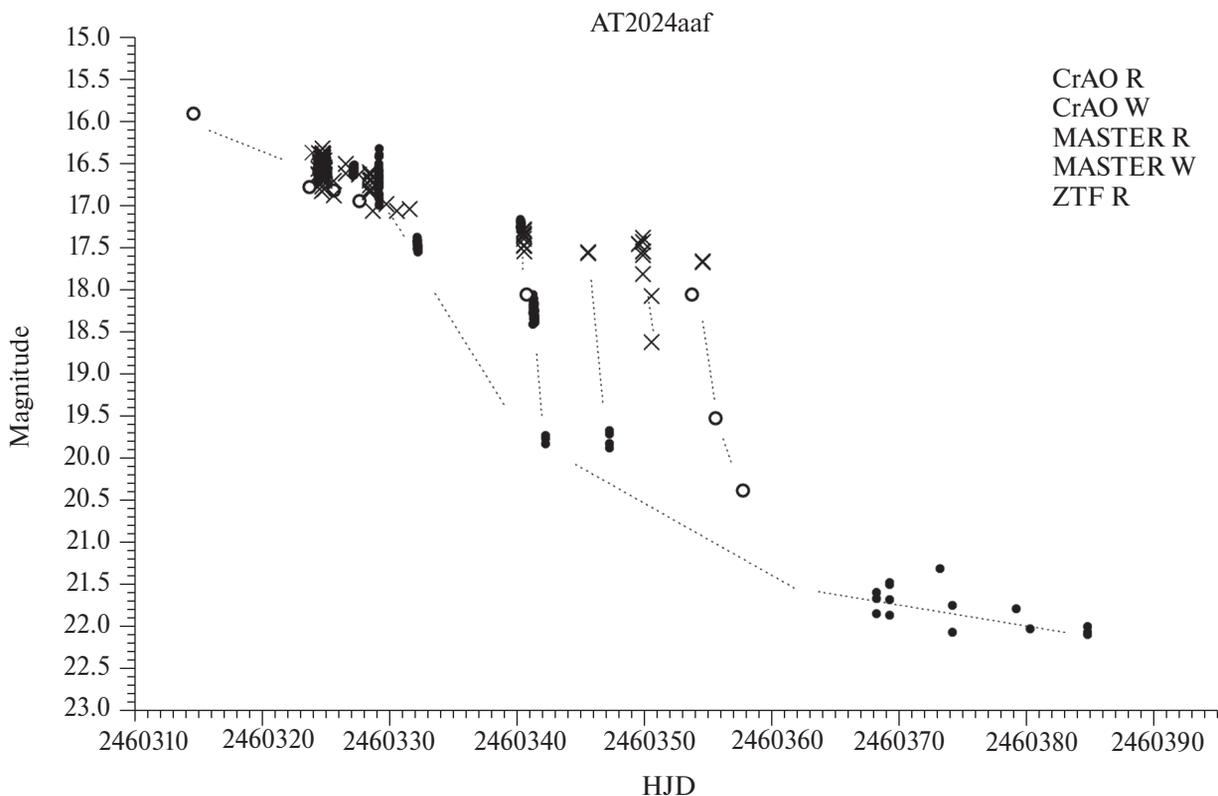


Рис. 7. Кривая блеска MASTER OT J044907.58+705812.7. Точками обозначены данные, полученные в КрАО, крестиками — полученные МАСТЕРОм, кружками — архивные данные ZTF

Таблица 2. Журнал наблюдений MASTER ОТ J044907.58+705812.7 в КрАО (HJD 2460000+)

Дата	HJD, начало	HJD, конец	Фильтр	N	σ
Jan 17/18	327.18283	327.29779	<i>U</i>	20	0.04
	327.17831	327.29966	<i>B</i>	20	0.04
	327.17948	327.30083	<i>V</i>	20	0.07
	327.18030	327.30166	<i>Rc</i>	20	0.01
	327.18113	327.30248	<i>Ic</i>	20	0.08
Jan 19/20	329.17650	329.24788	Без фильтра	47	0.06
Jan 22/23	332.19282	332.20526	<i>B</i>	3	0.07
	332.19400	332.20643	<i>V</i>	3	0.04
	332.19482	332.20726	<i>Rc</i>	3	0.02
	332.19565	332.20808	<i>Ic</i>	3	0.02
	332.21474	332.29878	Без фильтра	104	0.02
Jan 20/31	340.30053	340.31298	<i>B</i>	3	0.07
	340.29929	340.31275	<i>V</i>	3	0.04
	340.30503	340.31747	<i>Rc</i>	3	0.02
	340.30586	340.31829	<i>Ic</i>	3	0.02
	340.32214	340.41931	Без фильтра	120	0.02
Jan 31/01	340.30053	340.31298	<i>B</i>	3	0.07
	340.29929	340.31275	<i>V</i>	3	0.04
	340.30503	340.31747	<i>Rc</i>	3	0.02
	340.30586	340.31829	<i>Ic</i>	3	0.02
	340.32214	340.41931	Без фильтра	77	0.02
Feb 01/02	342.29447	342.30129	Без фильтра	4	0.02
Feb 06/07	347.30268	347.31151	Без фильтра	5	0.07
Feb 27/28	368.27953	368.28835	Без фильтра	3	0.10
Feb 28/29	369.29229	369.30111	Без фильтра	5	0.10
Mar 3/4	373.25456	–	Без фильтра	1	0.12
Mar 4/5	374.22732	374.23505	Без фильтра	2	0.15
Mar 9/10	379.23228	–	Без фильтра	1	0.15
Mar 10/11	380.32475	–	Без фильтра	1	0.15
Mar 14/15	384.34894	384.34972	Без фильтра	4	0.06

Примечание. σ — средняя точность наблюдений в звездных величинах.

треть из 18-и карликовых новых с повторными поярчаниями, включая два объекта, открытые МАСТЕРОМ (MASTER ОТ J085854.16–274030.7 [69] и MASTER ОТ J211258.65+242145.4 [70]), у которых измерены амплитуды поярчаний и частота их появлений [71], имеют сходные характеристики: средняя амплитуда поярчаний равна 2.3^m и средняя частота 4.8^d . Из-за пробелов в наблюдениях MASTER ОТ J044907.58+705812 нельзя утверждать, что повторных поярчаний не было больше.

В максимуме вспышки объект показывал голубые избытки цвета, близкие к нулю, характерные для карликовых новых в течение плато сверхвспышки [72]: для JD 2460327 $B = 16.777(6)^m$, $R_c = 16.577(8)^m$, $I_c = 16.669(8)^m$. Квазисовременная фотометрия в эту ночь в полосах $UBVR_cI_c$ выявила в них синхронные колебания блеска с амплитудой около 0.1^m и характерным временем $\sim 0.06^d$ (рис. 8), которые мы определили как сверх-

горбы в максимуме сверхвспышки карликовой новой.

Мы объединили в один массив данные B , V , R_c , I_c для данной ночи, приведя их к среднему уровню блеска, и построили для них периодограмму (рис. 9, слева) используя метод Стеллингверфа [73], реализованного в пакете программ ISDA [74], указавшую на период $0.060(1)^d$. Справа на рисунке приведена свертка с этим периодом. К сожалению, отсутствие достаточно длинных наблюдений в последующие ночи не дало возможности проследить эволюцию сверхгорбов.

Большая амплитуда вспышки, голубой цвет в максимуме, $\sim 0.06^d$, колебания блеска во вспышке, долгое возвращение к спокойному состоянию, наличие по крайней мере четырех повторных поярчаний дает основание классифицировать объект как карликовую новую типа WZ Sge с многократными поярчаниями [71]. Некоторые карликовые новые типа WZ Sge с повторными поярчания-

ми, по мнению Като [71], могут оказаться экзотическими объектами, содержащими вторичный компонент — коричневый карлик. Таких объектов в настоящее время найдено очень мало, поэтому их поиск и исследование является весьма актуальной задачей.

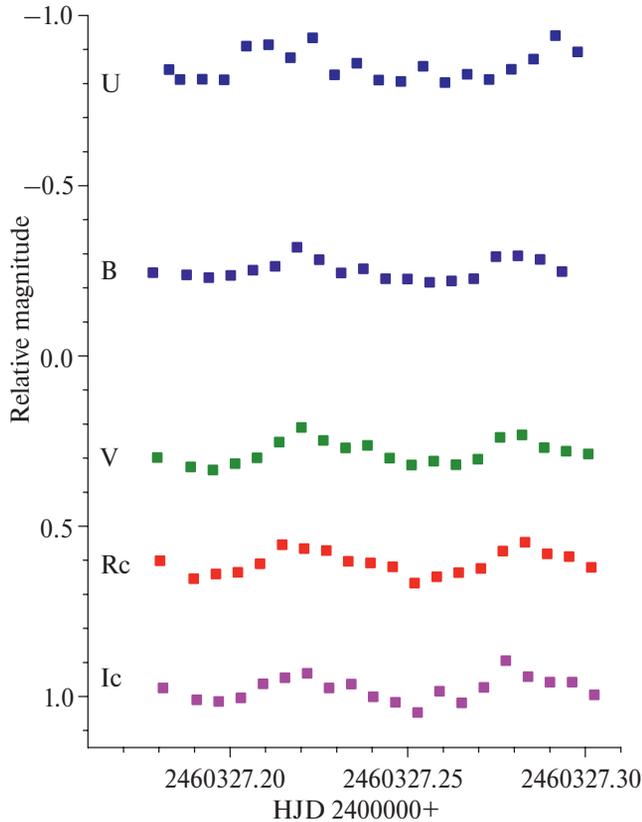


Рис. 8. Короткопериодические кривые блеска MASTER OT J044907.58+705812.7 в разных фильтрах

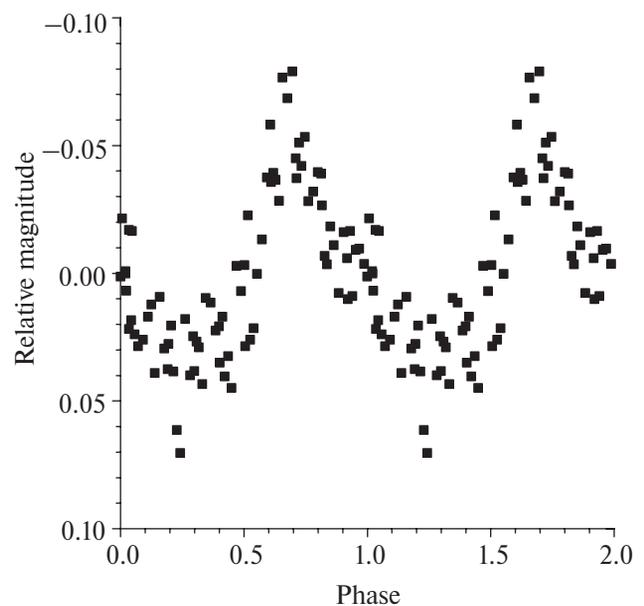
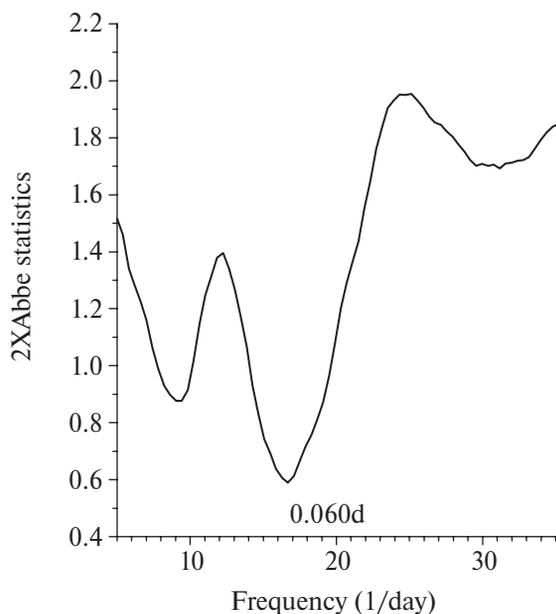


Рис. 9. Периодограмма для MASTER OT J044907.58+705812 (слева) и фазовая кривая, свернутая с периодом 0.060^d (справа)

5. ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Объекты, обнаруженные и классифицированные МАСТЕРОм во время вспышек, дают уникальную возможность получить фотометрию во время активной фазы и исследовать редкие объекты [7, 75–77], в том числе катаклизмические переменные с большой амплитудой или необычной формой кривой блеска. В данной работе была получена фотометрия именно карликовых новых звезд, относящихся к подклассу катаклизмических переменных. Мы сконцентрировались на подробной последующей фотометрии одного из этих объектов, MASTER J044907.58+705812.7. Данный объект был открыт телескопом МАСТЕР–Тунка [24] во вспышке, имевший блеск 14.7^m , и идентифицирован как карликовая новая типа WZ Sge по следующим критериям.

Анализ архивных данных обзоров МАСТЕР (2005 г., 2010–2024 гг.), ATLAS [61] (до 20^m), Pan-STARR [78] (до 24^m), TESS [62] (19.6^m) показал, что предшествующих вспышек обнаружено не было (не мирида с увеличением блеска, не переменная звезда других типов).

Проведенный совместный мониторинг MASTER OT J044907.58+705812.7 на телескопах КрАО и на телескопах МАСТЕР–Кисловодск, МАСТЕР–Тунка выявил большую амплитуду вспышки (более 7^m) и длительное (не менее 50 суток) возвращение к спокойному состоянию. Такая кривая блеска характерна для карликовых новых типа WZ Sge и исключает возможность другой интерпретации (не гамма-всплеск, не красный карлик, не сверхновая, не затменная типа ϵ Aur, не движущийся объект (астероид, комета, околоземные рукотворные)). Голубой цвет объекта и наличие сверхгорбов во время вспышки

подтверждают принадлежность объекта к карликовым новым, а наличие по крайней мере четырех повторных поярчаний на спаде блеска вспышки позволяет классифицировать MASTER OT J044907.58+705812.7 как карликовую новую типа типа WZ Sge с многократными поярчаниями, которая может оказаться экзотическим объектом — содержать вторичный компонент — коричневый карлик.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Глобальная сеть телескопов МАСТЕР МГУ (оборудование) частично поддержана Программой развития МГУ (до 2018 г.). Анализ изображений и фотометрии транзиентов J174714.38+150048.1, J065054.42+593625.5 А. Ф. Июдиным выполнен при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-42-10005. Анализ J185835.32–354042.2 выполнен при поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований, проект № F23-RSF-074. Н. М. Буднев поддержан (в части оборудования) программой Министерства образования РФ Ф33Е-2020-0024. Наблюдения А. А. Сосновского были выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 23-72-01080⁵.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *R. Hoshi*, *Progress Theor. Physics* 61(5), 1307 (1979).
2. *F. Meyer and E. Meyer–Hofmeister*, *Astron. and Astrophys.* 104, L10 (1981).
3. *J.A. Crawford and R.P. Kraft*, *Astrophys. J.* 123, 44 (1956).
4. *A.V. Tutukov and L.R. Yungelson*, *Nauchnye Informatsii* 20, 86 (1971).
5. *W. Krzeminski and R.P. Kraft*, *Astrophys. J.* 140, 921 (1964).
6. *А.Г. Мазевич, А.В. Тутуков*, *Эволюция звезд. Теория и наблюдения* (М.: Наука, 1988).
7. *M. Kimura, K. Kashiyama, T. Shigeyama, Y. Tambo, S. Yamada, and T. Enoto*, *Astrophys. J.* 951(2), id. 124 (2023).
8. *T. Kato, H. Itoh, T. Vanmunster, S. Kiyota, et al.*, arXiv:2304.07695 [astro-ph.SR] (2023).
9. *S.V. Antipin, A.M. Zubareva, A.A. Belinski, M.A. Burlak, N.P. Ikonnikova, and K.V. Sokolovsky*, *Astron. Letters* 46(10), 677 (2020).
10. *N.N. Samus', E.V. Kazarovets, O.V. Durlevich, N.N. Kireeva, and E.N. Pastukhova*, *Astron. Rep.* 61(1), 80 (2017).
11. *C. Knigge*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* 373(2), 484 (2006).
12. *B. Warner*, *Astrophys. Space Sci.* 226(2), 187 (1995).
13. *V. Lipunov, V. Kornilov, E. Gorbovskey, N. Shatskij, et al.*, *Adv. Astron.* 2010, id. 349171 (2010).
14. *V.M. Lipunov, V.V. Vladimirov, E.S. Gorbovskey, A.S. Kuznetsov, et al.*, *Astron. Rep.* 63(4), 293 (2019).
15. *V.M. Lipunov, V.G. Kornilov, K. Zhirkov, A. Kuznetsov, et al.*, *Universe* 8(5), id. 271 (2022).
16. *V.M. Lipunov, V.G. Kornilov, K.K. Zhirkov, P.V. Balanutsa, et al.*, *Astron. Rep.* 67(S2), S140 (2023).
17. *В.М. Липунов, В.Г. Корнилов, Е.С. Горбовской, Н.В. Тюрина, А.С. Кузнецов*, *Астрономические роботизированные сети и оперативная многоканальная астрофизика на примере глобальной сети МАСТЕР* (М.: Изд. дом МГУ, 2023).
18. *E. Pavlenko, T. Kato, K. Antonyuk, N. Pit, et al.*, *Contrib. Astron. Observ. Skalnaté Pleso* 51(2), 138 (2021).
19. *Y. Tambo, K. Isogai, N. Kojiguchi, H. Maehara, et al.*, *Publ. Astron. Soc. Japan* 73(3), 753 (2021).
20. *T. Kato, K. Isogai, F.-J. Hambsch, T. Vanmunster, et al.*, *Publ. Astron. Soc. Japan* 69(5), id. 75 (2017).
21. *T. Kato, P.A. Dubovsky, I. Kudzej, F.-J. Hambsch, et al.*, *Publ. Astron. Soc. Japan* 66(5), id. 90 (2014).
22. *T. Kato, F.-J. Hambsch, H. Maehara, G. Masi, et al.*, *Publ. Astron. Soc. Japan* 66(2), id. 30 (2014).
23. *T. Kato, F.-J. Hambsch, H. Maehara, G. Masi, et al.*, *Publ. Astron. Soc. Japan* 65(1), id. 23 (2013).
24. *O. Gress, V. Lipunov, P. Balanutsa, N. Budnev, et al.*, *TNS* № 2024–144, 1 (2024).
25. *V.M. Lipunov, V.A. Sadovnichy, M.I. Panasyuk, I.V. Yashin, et al.*, *Astrophys. J.* 943(2), id. 181 (2023).
26. *E. Troja, V.M. Lipunov, C.G. Mundell, N.R. Butler, et al.*, *Nature* 547, 425 (2017).
27. *B. O'Connor, E. Troja, G. Ryan, P. Beniamini, et al.*, *Science Advances* 9(23), id. eadi1405 (2023).
28. *V. Lipunov, V. Kornilov, K. Zhirkov, N. Tyurina, et al.*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* 516(4), 4980 (2022).
29. *O.A. Ershova, O.A. Gress, N.M. Budnev, S.A. Yazev, et al.*, *Astron. Rep.* 64(2), 126 (2020).
30. *V. Lipunov, S. Simakov, E. Gorbovskey, and D. Vlasenko*, *Astrophys. J.* 845(1), id. 52 (2017).
31. *V. Lipunov, V. Kornilov, E. Gorbovskey, G. Lipunova, D. Vlasenko, I. Panchenko, N. Tyurina, and V. Grinshpun*, *New Astronomy* 3, 48 (2018).
32. *V.M. Lipunov, E. Gorbovskey, V.G. Kornilov, N. Tyurina, et al.*, *Astrophys. J. Letters* 850(1), id. L1 (2017).
33. *B.P. Abbott, R. Abbott, T.D. Abbott, F. Acernese, et al.*, *Nature* 551(7678), 85 (2017).
34. *V. Lipunov, V. Kornilov, E. Gorbovskey, N. Tyurina, et al.*, *Astron. Rep.* 66(12), 1118 (2022).
35. *V.M. Lipunov, V.G. Kornilov, K. Zhirkov, E. Gorbovskey, et al.*, *Astrophys. J. Letters* 896(2), id. L19 (2020).
36. *O.A. Gress, V.M. Lipunov, D. Dornic, E.S. Gorbovskey, et al.*, *V Workshop on Robotic*

⁵ <https://rscf.ru/project/23-72-01080>

- Autonomous Observatories, edited by M.D. Caballero-Garcia, S.B. Pandey, and A.J. Castro-Tirado, *Revista Mexicana Astron. Astrof. Ser. Conf.* 51, 89 (2019).
37. V.G. Kornilov, V.M. Lipunov, E.S. Gorbovskoy, A.A. Belinski, et al., *Exp. Astron.* 33(1), 173 (2012).
 38. V.L. Oknyansky, M.S. Brotherton, S.S. Tsygankov, A.V. Dodin, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* 525(2), 2571 (2023).
 39. V.L. Oknyansky, H. Winkler, S.S. Tsygankov, V.M. Lipunov, E.S. Gorbovskoy, F. van Wyk, D.A.H. Buckley, and N.V. Tyurina, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* 483(1), 558 (2019).
 40. V.L. Oknyansky, C.M. Gaskell, N.A. Huseynov, V.M. Lipunov, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* 467(2), 1496 (2017).
 41. R. Nesci, S. Cutini, C. Stanghellini, F. Martinelli, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* 502(4), 6177 (2021).
 42. D.A.H. Buckley, R.J. Britto, S. Chandra, V. Krushinsky, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* 517(4), 5791 (2022).
 43. N.A. Huseynov, V.L. Oknyansky, Kh.M. Mikailov, V.M. Lipunov, V.I. Metlov, and N.I. Taghiyeva, *Azerbaijani Astron. J.* 15(2), 187 (2020).
 44. B.J. Shappee, A.L. Piro, K.Z. Stanek, S.G. Patel, R.A. Margutti, V.M. Lipunov, and R.W. Pogge, *Astrophys. J.* 855(1), id. 6 (2018).
 45. V.M. Lipunov, S. Blinnikov, E. Gorbovskoy, A. Tutukov, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* 470(2), 2339 (2017).
 46. E. Gorbovskoy, V. Lipunov, D. Buckley, N. Tyurina, et al., *Astron. Telegram* № 9039 (2016).
 47. V. Shumkov, V. Lipunov, E. Gorbovskoy, R. Rebolo, et al., *Astron. Telegram* № 8603 (2016).
 48. V. Shumkov, V. Lipunov, R. Podesta, H. Levato, et al., *Astron. Telegram* № 9621 (2016).
 49. H. Breytenbach, D.A.H. Buckley, P. Hakala, J.R. Thorstensen, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* 484(3), 3831 (2019).
 50. P. Balanutsa, O. Gress, V. Shumkov, S. Shurpakov, et al., *Astron. Telegram* № 9007 (2016).
 51. P. Balanutsa, D. Denisenko, V. Lipunov, E. Gorbovskoy, et al., *Astron. Telegram* № 6556 (2015).
 52. P. Balanutsa, O. Gress, V. Lipunov, D. Buckley, et al., *Astron. Telegram* № 7897 (2015).
 53. V. Lipunov, E. Gorbovskoy, V. Afanasiev, A. Tatarnikova, et al., *Astron. and Astropys.* 588, id. A90 (2016).
 54. D.S. Zimmukhov, V.M. Lipunov, E.S. Gorbovskoy, V.G. Kornilov, et al. *Astron. Rep.* 63(12), 1056 (2019).
 55. V. Shumkov, T. Pogrosheva, V. Lipunov, R. Rebolo, et al., *Astron. Telegram* № 13441 (2020).
 56. P. Balanutsa, V. Lipunov, D. Buckley, E. Gorbovskoy, et al., *Astron. Telegram* № 11534 (2018).
 57. T. Killestein, M. Pursiainen, B. Warwick, L. Kelsey, et al., *Astron. Telegram* № 16858 (2024).
 58. T. Killestein, L. Kelsey, G. Ramsay, M.R. Kennedy, et al., *Astron. Telegram* № 16842 (2024).
 59. C.Y. Wang, A. Li, H.Y. Liu, Z.X. Ling, and W. Yuan, *Astron. Telegram* № 16851 (2024).
 60. S. Bhattacharya and S. Bhattacharyya, *Astron. Telegram* № 16866 (2024).
 61. J.L. Tonry, L. Denneau, A.N. Heinze, B. Stalder, et al., *Publ. Astron. Soc. Pacific* 130(988), 064505 (2018).
 62. G.R. Ricker, J.N. Winn, R. Vanderspek, D.W. Latham, et al., *J. Astron. Telesc. Instrum. and Systems* 1, id. 014003 (2015).
 63. J.V.M. Cardoso, C. Hedges, M. Gully-Santiago, N. Saunders, et al., *Astrophys. Source Code Library*, record ascl:1812.013 (2018).
 64. A.J. Drake, S.G. Djorgovski, A. Mahabal, E. Beshore, et al., *Astrophys. J.* 696(1), 870 (2009).
 65. A.A. Henden, S. Levine, D. Terrell, and D.L. Welch, *Amer. Astronomical Society, AAS Meeting* 225, id. 336.16 2015.
 66. K.A. Collins, J.F. Kielkopf, and K.G. Stassun, *Astron. J.* 153(2), id. 78 (2017).
 67. A. Vallenari, A.G.A. Brown, T. Prusti, J.H.J. de Bruijne, et al., *Astron. and Astrophys.* 674, id. A1 (2023).
 68. F.J. Masci, R.R. Laher, B. Rusholme, D.L. Shupe, et al., *Publ. Astron. Soc. Pacific* 131(995), 018003 (2019).
 69. P. Balanutsa, V. Lipunov, E. Gorbovskoy, N. Tyurina, et al., *Astron. Telegram* № 6946 (2015).
 70. E.S. Gorbovskoy, V.M. Lipunov, V.G. Kornilov, A.A. Belinski, et al., *Astron. Rep.* 57(4), 233 (2013).
 71. T. Kato, *Publ. Astron. Soc. Japan* 67(6), id. 108 (2015).
 72. J. Patterson, *IUE Proposal ID CVJJP* (1988).
 73. R.F. Stellingwerf, *Astrophys. J.* 224, 953 (1978).
 74. Ya. Pelt, *Frequency analysis of astronomical time series* (Tallin: Valgus, 1980).
 75. C. Littlefield, P. Garnavich, T.J. Hoyt, and M. Kennedy, *Astron. J.* 155(1), id. 18 (2018).
 76. Yu. Tampo, T. Kato, K. Isogai, M. Kimura, et al., *arXiv:2408.13783 [astro-ph.SR]* (2024).
 77. Ya. Sharma, J. Sollerman, S.R. Kulkarni, T.J. Moriya, et al., *Astrophys. J.* 966(2), id. 199 (2024).
 78. K.C. Chambers, E.A. Magnier, N. Metcalfe, H.A. Flewelling, et al., *arXiv:1612.05560 [astro-ph.IM]* (2019).

DETECTION AND INVESTIGATION OF A NUMBER OF TRANSIENTS ON TELESCOPES OF THE MASTER GLOBAL NETWORK AND MASTER OT J044907.58+705812.7 AS AN EXAMPLE

© 2025 V. M. Lipunov^{a,b,*}, P. V. Balanutsa^{b,c}, E. P. Pavlenko^d, A. A. Sosnovskij^d, A. N. Tarasenkov^b, I. E. Panchenko^b, K. A. Antonyuk^d, O. I. Antonyuk^d, O. A. Gress^{e,b}, A. S. Kuznetsov^{a,b}, K. K. Zhirkov^{a,b}, N. V. Tyurina^b, A. R. Chasovnikov^{a,b}, G. A. Antipov^b, E. S. Gorbovskoy^b, A. N. Yudin^b, V. V. Topolev^{a,b}, D. V. Cheryasov^b, D. M. Vlasenko^{a,b}, Y. Kechin^{a,b}, V. A. Senik^b, A. F. Iyudin^f, N. M. Budnev^e, A. G. Tlatov^g, K. A. Vetrov^b, M. A. Gulyaev^b, V. V. Chazov^b, V. V. Vladimirov^b, D. S. Zimmukhov^b

^aFaculty of Physics, Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Moscow, Russia

^bLomonosov Moscow State University, Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia

^cResearch Center Kurchatov Institute, Moscow, Russia

^dState Budget Scientific Institution Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny, Crimea

^eIrkutsk State University, Institute of Applied Physics, Irkutsk, Russia

^fSkobel'syn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

^gKislovodsk Mountain Astronomical Station, Main Astronomical Observatory, Russian Academy of Sciences, Kislovodsk, Russia

*e-mail: lipunov@sai.msu.ru

The paper presents details of the detection of a new object MASTER OT J044907.58+705812.7 (AT2024aaf), discovered on January 14, 2024, during a regular survey on the MASTER-Tunka telescope of the MASTER Global Network of Moscow State University. Additional photometry of the object was obtained during joint observations at AZT-11 and 2.6-m ZTSh telescopes of CrAO RAS, MASTER-Tunka and MASTER-Kislovodsk telescopes. Large amplitude ($> 7^m$), blue color at maximum, brightness fluctuations during the outburst with a characteristic time of about 0.06 days, long (at least 50 days) return to a quiet state, the presence of at least four repeated rebrightenings gives grounds to classify the object as a dwarf nova of the WZ Sge type with multiple rebrightenings. The article also provides details of the detection of outbursts of other dwarf novae: MASTER OT J195416.74+494421.1, MASTER OT J150719.46-283114.9, MASTER OT J185835.32-354042.2, MASTER OT J174714.38+150048.1, and MASTER OT J065054.42+593625.5 as an example of the operation of software for processing wide-field images and identifying new and variable sources in them in real time.

Keywords: cataclismic variables, dwarf novae, WZ Sge type stars, transients, robotic telescopes, MASTER OT J044907.58+705812