

УДК 524.33(083.6):520.82

КАТАЛОГ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД В ПЛОЩАДКАХ WD 0009+501 И GRW+708247 ПО ДАННЫМ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЗОРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ТРАНЗИТНЫХ ЭКЗОПЛАНЕТ

© 2024 О. Я. Яковлев^{1*}, А. Ф. Валеев^{1,2}, Г. Г. Валявин¹, В. Н. Аитов¹,
Г. Ш. Митиани¹, Т. А. Фатхуллин¹, Г. М. Бескин^{1,3}, А. В. Тавров⁴, О. И. Кораблев⁴,
Г. А. Галазутдинов^{2,1}, В. В. Власюк¹, Э. В. Емельянов¹, В. В. Сасюк³, А. В. Перков⁵,
С. Ф. Бондарь⁵, Т. Е. Бурлакова^{1,2}, С. Н. Фабрика¹, И. И. Романюк¹

¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

²Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, 298409 Россия

³Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008 Россия

⁴Институт космических исследований РАН, Москва, 117997 Россия

⁵АО «НПК «Системы прецизионного приборостроения», Москва, 111024 Россия

Поступила в редакцию 13 ноября 2023 года; после доработки 1 декабря 2023 года; принята к публикации 7 декабря 2023 года

В ходе обзора экзопланет в САО РАН за 2.5 года были получены кривые блеска почти 50 тысяч звезд со звездными величинами $m \in [11^m 5, 19^m 5]$ в областях около $1^{\circ} 5$ вокруг белых карликов WD 0009+501 и GRW+708247. В работе представлен каталог переменных звезд, которые были найдены в исследуемых площадках. В качестве основного метода поиска переменности использовался анализ периодограмм. В каталог включены 150 периодических переменных звезд, из них 113 ранее уже были известны, переменность остальных 37 обнаружена впервые. Проведена классификация этих звезд в зависимости от природы переменности на четыре затменно-переменных и три пульсирующих типа, а также на вращающиеся звезды. Представлены периоды и амплитуды переменности в диапазоне $P \in [0^d 036, 32^d 14]$ и $\Delta m \in [0^m 0064, 1^m 45]$, определенные по исследуемым данным.

Ключевые слова: методы: наблюдательные — методики: фотометрические — звезды: переменные — двойные: затменные — экзопланеты

1. ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение и изучение переменных звезд является сопутствующим направлением исследований в ходе поиска экзопланет транзитным методом (Deeg and Alonso, 2018), суть которого сводится к регистрации переменности блеска звезд. Шанс обнаружить новые экзопланеты тем выше, чем дольше проводятся наблюдения и чем больше исследуемое поле. В результате получаются кривые блеска десятков миллионов звезд (например, проект SuperWASP (Norton, 2018)), охватывающие интервал времени от нескольких месяцев до нескольких лет. По данным таких космических и наземных экзопланетных обзоров публикуются каталоги и изучаются переменные звезды различных типов.

Например, в ходе первичной миссии космического телескопа TESS в 2018–2020 гг. был

опубликован каталог (Fetherolf et al., 2023), содержащий более 40 тысяч переменных звезд. В этом обзоре были исследованы кривые блеска приблизительно 200 тысяч ярких звезд $m < 14^m$ на временном интервале примерно 55 суток для четверти из них и 28 суток для остальных. По данным TESS также исследовались переменные звезды спектральных классов A–F (Skarka et al., 2022), короткопериодические пульсирующие горячие субкарлики (Baran et al., 2023) и затменные двойные системы (Green et al., 2023). По данным Антарктического обзорного телескопа (AST3-II) проекта CHESPA опубликован каталог 221 переменных звезд с $m < 15^m$ (Zhang et al., 2019).

В САО РАН проводятся фотометрические наблюдения в рамках проекта EXPLANATION (Valyavin et al., 2022a,b) на малых роботизированных телескопах. В настоящее время активно работают два из них, еще три установлены и подготавливаются к работе. С целью поиска кандидатов

*E-mail: yko-v@ya.ru

в экзопланеты в течение 2.5 лет на одном из таких телескопов проводились наблюдения двух площадок размером примерно 1°5. В результате этих наблюдений суммарно для почти 50 000 звезд получены фотометрические ряды максимальной длиной 23 и 56 суток (соответственно для первой и второй площадок).

С учетом геометрической вероятности обнаружения горячих Юпитеров на уровне менее 10% (Deeg and Alonso, 2018), наилучшей достигаемой точности $3\sigma \approx 0^m01$, а также скважности и длительности наблюдений ожидается обнаружить по этим данным не более двадцати новых кандидатов в экзопланеты. При этом получены кривые блеска как минимум сотен переменных звезд, в том числе и неизвестных ранее, которые пригодны для исследования.

Однако детальное изучение переменных звезд не является первоочередной задачей проекта EXPLANATION. Поэтому настоящая работа посвящена описанию созданного каталога переменных звезд и их первичной классификации, а также представлению параметров кривых блеска для того, чтобы в дальнейшем эти звезды могли быть изучены другими научными группами.

Каталог опубликован в свободном доступе по ссылке (<https://www.sao.ru/jet/VarStarsDB/>) и в дальнейшем будет обновляться. На момент создания он содержит информацию о 150 затменных, пульсирующих и вращающихся периодических переменных звездах: тип переменности, кривые блеска разного уровня обработки, их параметры (период, амплитуда) и фазовые кривые, а также информацию о них из других каталогов.

2. НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА

В качестве центральных объектов площадок были выбраны белые карлики WD 0009+501 (EGGR-381) и GRW+708247 (LAWD-73), которые ранее изучались соавторами. На широте места наблюдения ($\varphi \approx 44^\circ$) эти звезды являются незахожими ($\delta_1 \approx 50^\circ$, $\delta_2 \approx 70^\circ$), что важно при экзопланетном обзоре для получения длинных фотометрических рядов.

Переменность EGGR-381 с периодом $P \approx 8^h$ и амплитудой $m \approx 0^m01$ достоверно известна (Valeev et al., 2015; Antonyuk et al., 2019). С целью проверки возможности детектирования переменности с такой амплитудой, которая характерна и для максимальной глубины транзитов горячих Юпитеров (Winn, 2010), этот белый карлик был выбран в качестве центрального объекта.

Переменность GRW+708247 изучалась в работе Valeev et al. (2017), однако не была подтверждена. Выбор этого объекта в качестве центрального

основан на предположении существования у него транзитной экзопланеты.

Наблюдения проведены на роботизированном телескопе Ричи–Кретьена «Астросиб-500» с главным зеркалом $D = 50$ см. Изображения получены в интегральном свете в масштабе $1.^h3/\text{pixel}$ с помощью размещенного в главном фокусе ПЗС-приемника с матрицей 4096×4096 пикселей размером 9 мкм. С 25/08/2020 по 21/01/2021 в течение 84 ночей с экспозицией 60 с наблюдалась площадка WD 0009+501 ($m_G = 14^m2$ (Gaia)), с 02/02/2021 до 31/12/2022 в течение 224 ночей с экспозицией 40 с — поле GRW+708247 ($m_G = 13^m2$).

Полученные изображения обработаны автоматически с помощью разработанного нами алгоритма с использованием стандартных процедур фотометрии: вычитание темнового кадра и (в случае второй площадки) деление на плоское поле (CCDPack, Warren-Smith et al., 2014), нахождение источников и их привязка на изображении к опорному каталогу (Astrometry.net, Lang et al., 2010), апертурная фотометрия (SExtractor, Bertin and Arnouts, 1999), кросс-идентификация источников и построение инструментальных кривых блеска с последующей их калибровкой (CCDPack, Price-Whelan et al., 2022).

В качестве опорного каталога по координатам принят Gaia DR3 (Prusti et al., 2016; Vallenari et al., 2023), по которому сформированы каталоги почти 40 000 и 13 000 звезд из наблюдаемых полей в диапазонах $G \in [14^m5, 19^m5]$ и $G \in [11^m5, 18^m5]$ соответственно. В ходе двух обзоров получены фотометрические ряды для 35 183 и 12 589 звезд длиной до 24 390 и 55 344 точек, которые в дальнейшем исследовались на переменность.

Из-за того, что фотометрические ряды по различным причинам имели неоднородное качество, описанные методы применялись для кривых блеска с дополнительной обработкой в различных сочетаниях, включающих следующие этапы: выравнивание медианного уровня за каждую ночь, удаление трендов, удаление интервалов, имеющих низкую точность из-за плохих погодных условий. Первые два действия применялись для обнаружения короткопериодических переменных звезд или долгопериодических затменных (то есть с периодической переменностью, которая проявляется на отрезке длиной менее шести часов). Кроме того, в разных случаях для калибровки использовались от одной до двадцати опорных звезд, выбранных по различным критериям (см. Yakovlev et al., 2023).

Дополнительные сведения о наблюдениях и обработке данных можно найти в наших предыдущих публикациях (Valyavin et al., 2022a,b; Yakovlev et al., 2022; 2023).

Таблица 1. Используемые каталоги переменных звезд. Указано количество звезд в каталогах из рассматриваемых полей и количество подтвержденных из них по исследуемым данным

№	Название	Количество	Каталог/таблица Vizier
1	Gaia DR3 variables	911/101	I/358/vclassre [1]
2	VSX (AAVSO)	164/68	B/vsx/vsx [2]
3	ZTF	128/60	J/ApJS/249/18/table3 [3]
4	ASAS-SN	16/47	II/366/catalog [4]
5	ZTF (suspected)	218/2	J/ApJS/249/18/table2 [3]
6	GCVS	3/2	B/gcvs/gcvs_cat [5]
7	OGLE-V	0/0	J/AcA/62/219/list_var [6]
8	Zhang	0/0	J/ApJS/240/16/table4 [7]

[1] — Vallenari et al. (2023), [2] — Watson et al. (2009), [3] — Chen et al. (2020),
 [4] — Jayasinghe et al. (2018), [5] — Samus' et al. (2017), [6] — Soszyński et al. (2012), [7] — Zhang et al. (2019).

3. ПОИСК ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД

Для поиска переменных звезд использовался поэтапный подход, применяющийся многократно с различными методами исследования временных рядов на переменность и вариантами обработки кривых блеска. На каждом этапе вырабатывался критерий, по которому звезда либо считалась кандидатом в переменные и изучалась дальше, либо отсеивалась.

Первый метод исследования на переменность заключается в построении зависимости стандартного отклонения кривой блеска σ от звездной величины m (Sokolovsky et al., 2016). При этом могут учитываться либо только отдельные ночи, либо вся кривая блеска. Отбираются те кривые, которые имеют отклонение выше ожидаемого для данной звездной величины. Далее они визуально проверяются на наличие переменности или, в случае отрицательного результата, исследуются дальше. Этот метод подходит для поиска короткопериодических или высокоамплитудных переменных.

Основной используемый метод поиска состоит в построении и последующем анализе периодограмм двухуровневой модели наименьших квадратов (Box Least Squares) (Kovacs et al., 2002; Price-Whelan et al., 2022) и периодограмм Ломба–Скаргла (Lomb, 1976; Scargle, 1982; VanderPlas, 2018; Price-Whelan et al., 2022). Первый алгоритм эффективнее для поиска затменно–переменных звезд типа Алголя и транзитов экзопланет, второй — для остальных объектов (с плавно меняющимися кривыми блеска). Среди полученных периодограмм отбираются те, которые имеют отношение сигнала максимальной мощности к шуму или к мощности других максимумов выше некоторого установленного порогового значения. Далее для отобранных объектов строятся фазовые кривые блеска наиболее математически значимых периодов или кратных им, после чего они визуально проверяются.

Небольшое количество переменных звезд было обнаружено случайным образом в ходе отладки алгоритмов создания кривых блеска и их калибровки, а также в процессе выбора опорных звезд. После чего также для них строились периодограммы с целью определения периода и построения фазовых кривых с последующей проверкой.

4. ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ С ДРУГИМИ КАТАЛОГАМИ

После того, как используемые алгоритмы перестали давать новый результат, звезды из исследуемых площадок были отождествлены с известными переменными звездами (и кандидатами) других опубликованных каталогов. Всего рассматривалось восемь каталогов переменных звезд, перечисленных в таблице 1, а также каталог экзопланет¹. Из них в двух (последние в таблице 1) не было найдено записей по заданным координатам и диапазону звездных величин, так же, как и в каталоге экзопланет.

В выбранных каталогах в рассматриваемых площадках всего известно 1068 переменных звезд в статусе подтвержденных или кандидатов, из них 717 в первом поле, 351 — во втором. Большинство (911) являются кандидатами по каталогу переменных звезд Gaia DR3 (№ 1 в таблице 1). Из них только у $n_{\text{cat}} = 113$ по нашим данным переменность была подтверждена (87 в площадке WD 0009+501 и 26 — в GRW +708247).

С помощью описанных методов (см. раздел 3) всего было найдено 123 переменные звезды, из которых $n_s = 86$ уже входили в другие каталоги, а остальные 37 — нет. К этим 123 звездам мы добавили оставшиеся $n_{\text{cat}} - n_s = 27$ звезд и получили

¹NASA Exoplanet Archive:
<https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>

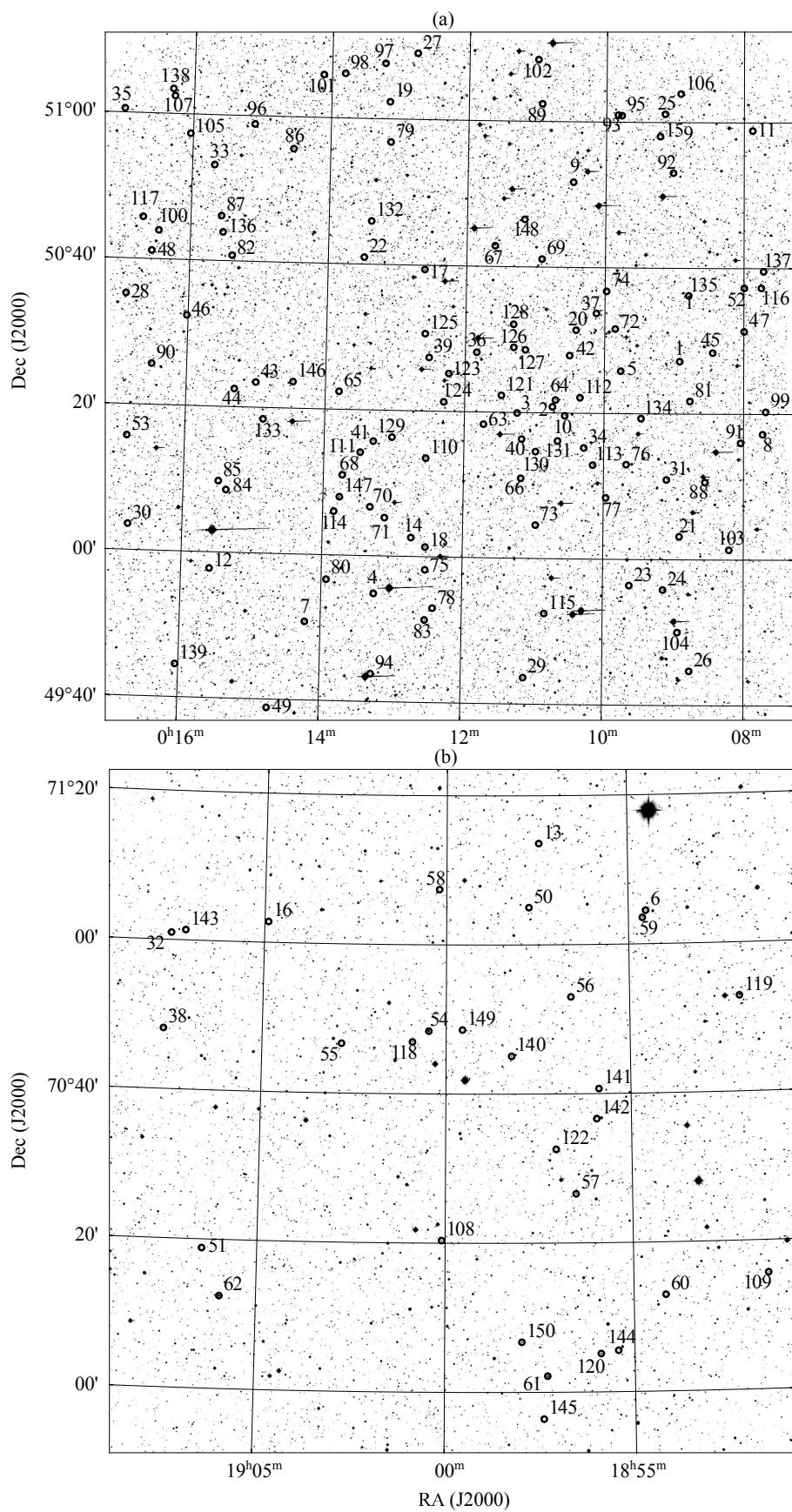


Рис. 1. Положение переменных звезд каталога на изображениях в площадках WD 0009+501 (а) и GRW +708247 (б).

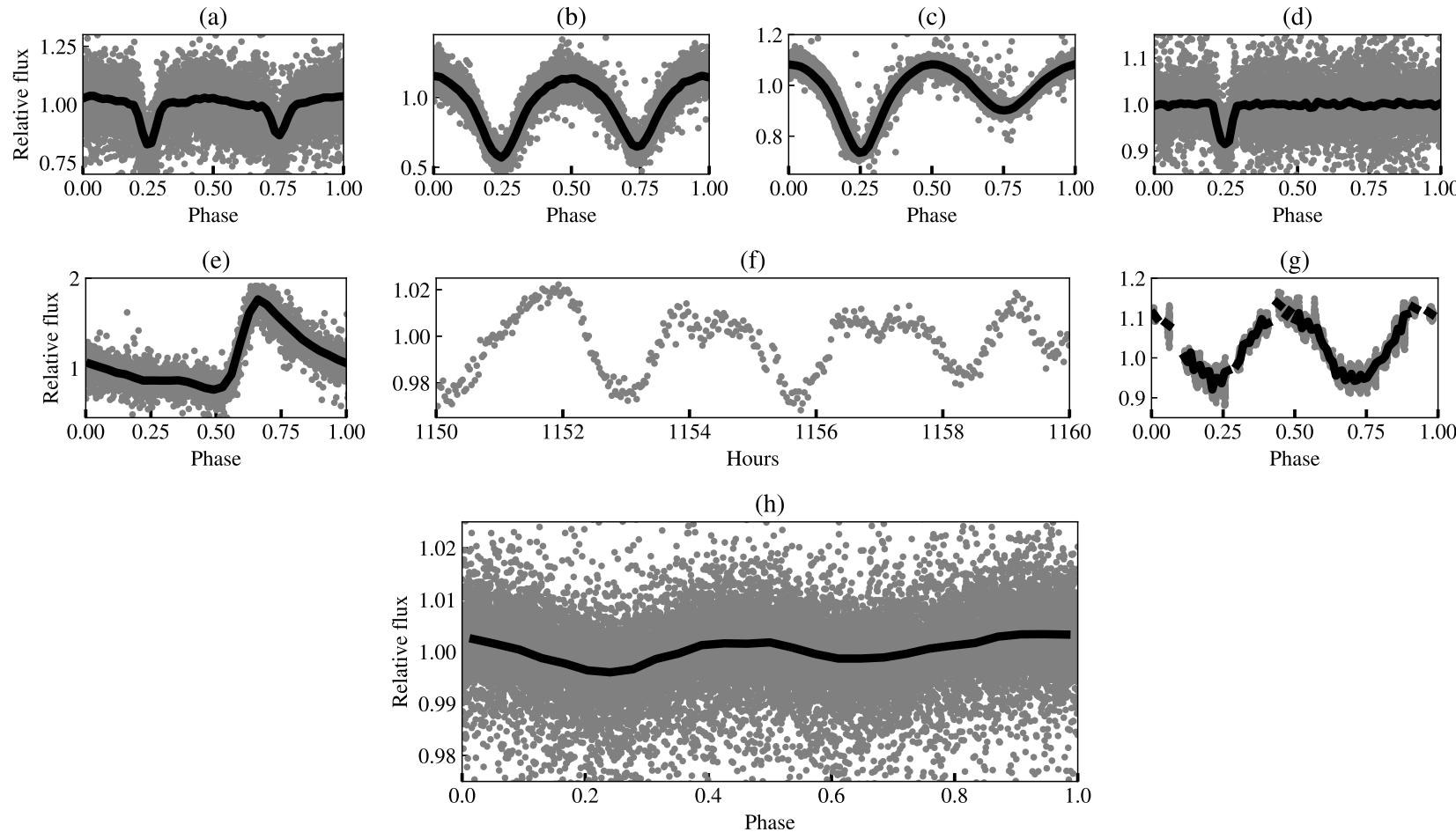


Рис. 2. Примеры фазовых кривых блеска переменных звезд: затменные типа (а) — Алголь (EA), (б) — β Лиры (EB), (с) — W Большой Медведицы (EW), (д) — звезды с кандидатами в экзопланеты (EP|BD|EA); пульсирующие типа (е) — RR Лиры (RR), (ф) — δ Щита или γ Золотой Рыбы, или SX Феникса (DSCT|GDOR|SXPHE), (г) — долгопериодические (LPV); (х) — вращающиеся (rot).

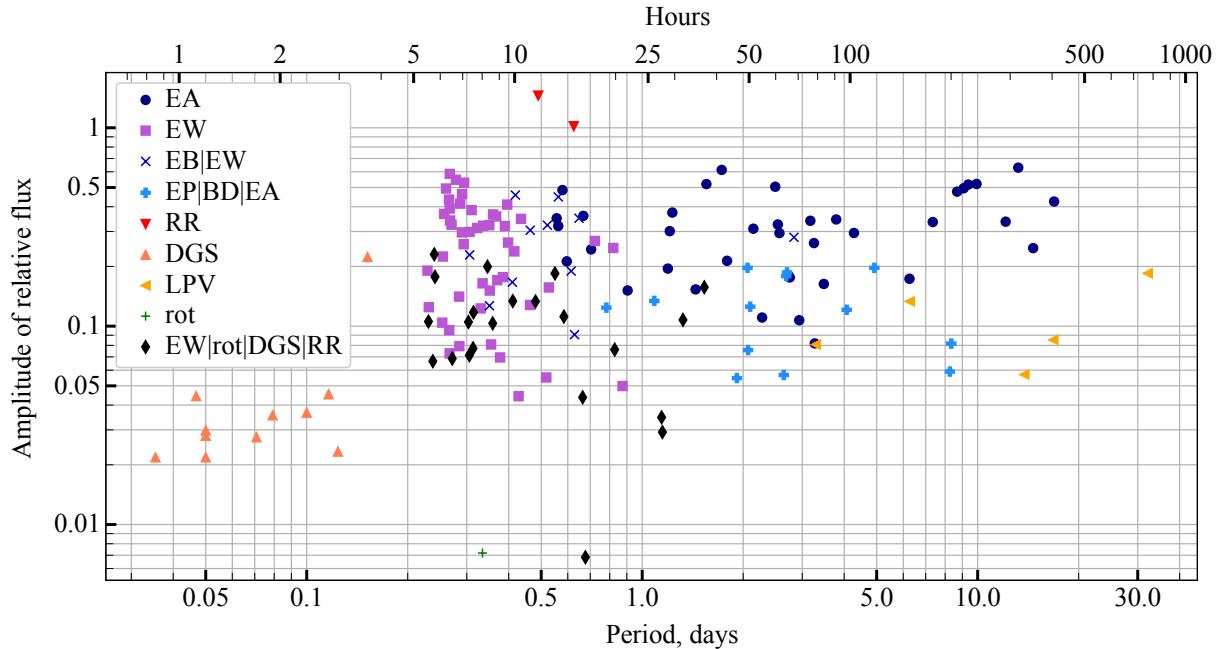


Рис. 3. Переменные звезды каталога в плоскости «период – амплитуда» с классификацией по типам: затменные EA, EW, EB|EW, EP|BD|EA; пульсирующие RR, DSCT|GDOR|SXPHE (обозначены DGS), LPV; вращающиеся rot, а также группа неоднозначно определенных типов EW|rot|DGS|RR (описание см. в тексте).

суммарно 150 переменных звезд нашего каталога (рис. 1).

Поиск переменных звезд не имел системного характера, поэтому грубо оценить эффективность используемого подхода можно как отношение $n_s/n_{\text{cat}} = 76\%$. При такой оценке не учитываются звезды, которые были ранее неизвестны или обнаружены случайным образом, а также ложноотрицательные переменные из других каталогов (ложно не подтвердились по исследуемым нами данным).

5. КЛАССИФИКАЦИЯ

Классификация проведена согласно «Общему каталогу переменных звезд» (ОКПЗ) (Samus' et al., 2017) и «Международному каталогу переменных звезд»². Найденные переменные звезды в исследуемом поле разделены на три основных класса (рис. 2): затменные (а)–(д), пульсирующие (е)–(г), вращающиеся (х). Затменные и пульсирующие классы подразделены на четыре и три типа соответственно.

Среди затменно-переменных звезд (Е) выделены три общепринятых типа: Алголь (EA), β Лиры (EB), W Большой Медведицы (EW) и отдельно – звезды с кандидатами в экзопланеты (EP|BD|EA). В случае подтверждения наличия транзитной экзопланеты у этой звезды ее можно будет отнести к типу EP. Иначе, если затмевающий компонент

является коричневым карликом, то к типу BD (выделен только в системе VSX), либо к EA, если второй компонент является звездой.

В классе пульсирующих переменных звезд выделяется три группы: RR Лиры (RR); δ Щита или γ Золотой Рыбы, или SX Феникса (DSCT|GDOR|SXPHE); долгопериодические (LPV) с периодом более трех суток.

Каталоги VSX, ASAS-SN и ZTF также используют такую классификацию по типам (кроме четвертого типа затменных). В Gaia класс затменных (Е) не подразделяется на типы, присутствуют типы RR Лиры (RR) и солнечный (SL), а также не разделяются типы δ Щита, γ Золотой Рыбы и SX Феникса (DSCT|GDOR|SXPHE). Кроме того, во всех каталогах выделяется тип RS Гончих Псов (RS), к которому отнесены восемь звезд с номерами 15, 95, 102, 104, 129, 133, 146, 149 из нашего каталога. Полученные нами кривые блеска не подтверждают принадлежность их к этому типу (см. кривые блеска в Дополнительных материалах).

Из 113 переменных звезд, которые содержатся в других каталогах, 111 были уже классифицированы, оставшиеся две из каталога № 5 (таблица 1) – нет. На основании этих сведений и полученных наблюдательных данных (форма, период и амплитуда фазовой кривой) принималось решение о том, к каком типу отнести звезду. В случае несовпадений данных различных каталогов предпочтение отдавалось VSX, ASAS-SN и ZTF вследствие того, что классификация Gaia (в отличие от них) проводилась полностью автоматически. Применение

²The International Variable Star Index (VSX): <https://www.aavso.org/vsx/index.php>

автоматического классификатора (Kim and Bailer-Jones, 2016), реализованного с использованием машинного обучения, не принесло значимого результата.

Для всех звезд каталога определены периоды P и амплитуды переменности Δm , представленные в таблице 2 и на рис. 3.

Таблица 2. Параметры звезд представленного в этой статье каталога и их переменности: порядковый номер в каталоге, ID по каталогу Gaia DR3, координаты RA и Dec, видимая звездная величина G (Vallenari et al., 2023), амплитуда (Amp) и период (P) переменности кривой блеска, класс (Class) и тип (Type) по каталогу, класс/тип по другим каталогам (Type cats). В последнем столбце тип указан для известных по другим каталогам звезд (кроме звезд № 90, № 140, которые не были классифицированы). Используется сокращенная запись (DSCT|GDOR|SXPHE) — DGS

№	Gaia DR3 source id	RA	Dec	G	Amp	P , days	Class	Type	Type cats
1	395274812445302016	2.229875	50.453245	15.5	0.2474	14.637	E	EA	
2	395223478994996608	2.640593	50.327162	14.9	0.4955	9.0833	E	EA	E
3	395221314331486848	2.811233	50.332251	14.19	0.1795	2.7317	E	EA	E
4	395193856599122560	3.313128	49.913861	17.49	0.5043	2.4922	E	EA	E
5	395272579062402816	2.441462	50.430547	14.66	0.1733	6.262	E	EA	E
6	2265877140230153600	283.630864	71.075051	15.59	0.2949	4.2783	E	EA	EA
7	394444818601580928	3.555535	49.846449	15.73	0.2622	3.2512	E	EA	E
8	393778308397569920	1.931906	50.286905	14.45	0.5203	1.5537	E	EA	EA
9	395355008075442688	2.617854	50.861803	17.38	0.2136	1.7904	E	EA	E
10	395224264969539584	2.685054	50.347333	18.36	0.3398	3.1711	E	EA	
11	395324324828879488	1.969409	50.98153	17.42	0.2946	2.5649	E	EA	
12	394459077892981376	3.898685	49.962845	19.02	0.3256	2.5376	E	EA	
13	2262905160300329728	284.364162	71.226466	16.35	0.195	1.1925	E	EA	E
14	395201621900114176	3.183671	50.043319	17.56	0.2122	0.59583	E	EA	EA
15	395312779956817280	2.304452	50.967816	14.58	0.1071	2.9384	E	EA	RS
16	2262840868933718528	286.225297	71.046513	18.14	0.4766	8.6833	E	EA	
17	395336625615598720	3.1509	50.657034	14.97	0.176	2.7536	E	EA	
18	395204095801255040	3.132701	50.022202	14.5	0.3738	1.2299	E	EA	EA
19	395370160720961920	3.287777	51.039151	16.3	0.3349	7.3475	E	EA	
20	395249798555153408	2.603089	50.523399	17.05	0.3363	12.1167	E	EA	
21	393761880145088000	2.228665	50.05279	18.34	0.6297	13.2123	E	EA	
22	395334594088690304	3.370551	50.682601	18.55	0.4249	16.9	E	EA	
23	393752328136796800	2.406077	49.940379	18.64	0.3012	1.2083	E	EA	
24	393755042556557056	2.286177	49.930757	13.63	0.3099	2.1447	E	EA	EA
25	395406685123553664	2.286832	51.019033	15.12	0.0818	3.2694	E	EA	
26	393727387266077696	2.19181	49.745241	15.34	0.1105	2.2769	E	EA	
27	395374043371349248	3.189686	51.15151	18.73	0.3199	0.56202	E	EA	E
28	394593527545967360	4.226079	50.586942	17.54	0.1532	1.4426	E	EA	
29	393699452798541824	2.778971	49.7272	16.05	0.3496	0.55594	E	EA	E
30	394463579019096064	4.19349	50.059788	17.37	0.4854	0.57854	E	EA	E
31	393764358343856512	2.275185	50.182619	15.61	0.1513	0.90478	E	EA	E
32	2262828709882555264	286.889657	71.016243	16.11	0.2438	0.70438	E	EA	E
33	394607271444400384	3.919518	50.885796	15.44	0.521	9.9208	E	EA	
34	395217118142344064	2.571486	50.254179	17.94	0.3451	3.7876	E	EA	E
35	394982067472137984	4.250933	51.009383	13.71	0.1632	3.4781	E	EA	E

Таблица 2. (Продолжение)

№	Gaia DR3 source id	RA	Dec	G	Amp	P, days	Class	Type	Type cats
36	395246534380053760	2.95904	50.469869	16.83	0.3598	0.66768	E	EA	E
37	395297008837063936	2.530646	50.562157	17.2	0.6133	1.7258	E	EA	
38	2262822525129532160	286.921449	70.802437	15.47	0.5173	9.3771	E	EA	EA
39	395239868590825472	3.129905	50.455905	18.87	0.1254	2.0982	E	EP BD EA	
40	395220833295162112	2.794095	50.272619	17.84	0.0567	2.6426	E	EP BD EA	
41	395229079633073024	3.324483	50.262183	14.92	0.059	8.2629	E	EP BD EA	
42	395249244499720320	2.625306	50.464983	18.82	0.1341	1.0869	E	EP BD EA	
43	394576102863768832	3.749979	50.390906	18.71	0.2248	2.6875	E	EP BD EA	E
44	394564111315029120	3.826784	50.374682	16.69	0.0817	8.3411	E	EP BD EA	
45	395281753112434304	2.111531	50.473281	14.26	0.0547	1.9162	E	EP BD EA	
46	394573186584164096	4.004353	50.540019	16.97	0.124	0.782	E	EP BD EA	
47	395282813962513536	1.998838	50.522187	17.98	0.0758	2.0685	E	EP BD EA	
48	394596585565904000	4.138275	50.686119	18.26	0.121	4.0696	E	EP BD EA	
49	394436915861885568	3.683293	49.647688	15.33	0.2216	2.0604	E	EP BD EA	E
50	2262876259464278656	284.434002	71.083422	18.58	0.2777	4.9208	E	EP BD EA	
51	2262779919053939584	286.615606	70.313854	16.02	0.2341	2.7021	E	EP BD EA	
52	395289415334015360	1.998741	50.621772	14.57	0.1895	0.61417	E	EB EW	EW
53	394560336042255744	4.206689	50.262103	14.12	0.3498	0.64812	E	EB EW	EW EB
54	2262857950020261120	285.117959	70.807093	11.48	0.0906	0.62848	E	EB EW	EB
55	2262810705379457664	285.709715	70.777887	17.04	0.1268	0.35058	E	EB EW	EW
56	2262870147726923776	284.150449	70.883421	16.28	0.2287	0.30588	E	EB EW	EW
57	2262479546221314176	284.127211	70.44319	14.09	0.2806	2.8346	E	EB EW	EA
58	2262888972567506560	285.050036	71.123747	16.67	0.4579	0.4188	E	EB EW	EW
59	2265875456603234176	283.65437	71.059045	14.78	0.1665	0.41025	E	EB EW	EB EW
60	2262449309651289984	283.539658	70.216066	16.37	0.4483	0.56233	E	EB EW	EW
61	2262432469083531264	284.324296	70.036215	11.85	0.3043	0.46382	E	EB EW	EW
62	2262403130163052928	286.4915	70.207661	11.81	0.3228	0.52179	E	EB EW	EW
63	395243716881546496	2.931151	50.305563	17.04	0.0793	0.2851	E	EW	EW
64	395224303628713216	2.674422	50.362957	14.26	0.3848	0.31012	E	EW	EW
65	394486183430499072	3.450808	50.374492	17.87	0.1228	0.32992	E	EW	EW
66	395218462473241088	2.795403	50.182924	16.29	0.2688	0.72295	E	EW	EW
67	395255704130776960	2.898425	50.714223	14.95	0.4146	0.28675	E	EW	EW
68	394477391633388032	3.432817	50.183615	16.81	0.3125	0.3223	E	EW	EW
69	395257632575459456	2.728605	50.685036	16.09	0.2382	0.41575	E	EW	EW
70	395226120393665920	3.33176	50.111913	18.04	0.2969	0.2901	E	EW	EW
71	395202760072882176	3.279247	50.087632	18.95	0.3409	0.26754	E	EW	EW
72	395296768318905600	2.462304	50.526814	16.84	0.1767	0.38444	E	EW	EW
73	395210628452927872	2.741097	50.076362	16.06	0.1279	0.46338	E	EW	EW
74	395298898622664064	2.494746	50.612826	17.42	0.3679	0.257	E	EW	E
75	395198048487250688	3.131944	49.970174	17.34	0.1247	0.23115	E	EW	EW
76	395263022752784128	2.419259	50.216812	16.66	0.3918	0.26683	E	EW	EW
77	395261442204729728	2.491278	50.140583	17.52	0.4941	0.26022	E	EW	EW

Таблица 2. (Продолжение)

№	Gaia DR3 source id	RA	Dec	G	Amp	P, days	Class	Type	Type cats
78	395195918183399808	3.103369	49.882752	18.31	0.4639	0.29029	E	EW	EW
79	395367961697722112	3.282224	50.947198	17.68	0.3196	0.38972	E	EW	EW
80	394450144360969856	3.48227	49.944036	15.69	0.3574	0.36708	E	EW	EW
81	395269040009279872	2.192487	50.36224	17.38	0.5288	0.29467	E	EW	E
82	394598578430693888	3.847475	50.679567	16.49	0.2243	0.25467	E	EW	EW
83	395195819405788672	3.130853	49.855421	14.31	0.0551	0.51785	E	EW	E
84	394467049352650112	3.846734	50.143194	17.26	0.4344	0.2656	E	EW	EW
85	394468526820932736	3.874893	50.163183	18.39	0.4101	0.39592	E	EW	EW
86	394617471990323200	3.634264	50.926918	17.72	0.0729	0.26667	E	EW	
87	394600743094163712	3.889721	50.76947	17.52	0.2986	0.30575	E	EW	
88	393765075598535296	2.137554	50.177131	17.17	0.3209	0.33595	E	EW	E
89	395362842095742848	2.733725	51.04038	17.45	0.1705	0.36989	E	EW	EW
90	394568170062469120	4.126014	50.427404	14.13	0.0695	0.37697	E	EW	
91	393777380684644480	2.010245	50.267208	15.85	0.2478	0.81986	E	EW	EW
92	395310546574009344	2.256365	50.884473	16.91	0.2639	0.39831	E	EW	E
93	395403798905544576	2.457903	51.016252	17.16	0.3246	0.27028	E	EW	EW
94	395190905963218944	3.318667	49.730356	15.87	0.3473	0.43539	E	EW	E
95	395403867625020672	2.444296	51.015019	14.59	0.0809	0.35445	E	EW	RS
96	394620053267032320	3.777182	50.981245	17.69	0.5855	0.26704	E	EW	EW
97	395376757790700032	3.306434	51.127022	14.64	0.0444	0.4281	E	EW	
98	394625134212185344	3.452258	51.102212	16.96	0.0954	0.26598	E	EW	EW S
99	393778892513106432	1.920853	50.338218	16.39	0.1408	0.28455	E	EW	EW
100	394596791724300800	4.115014	50.732622	15.73	0.1644	0.33442	E	EW	EW
101	394625306010871296	3.530354	51.098191	17.93	0.5471	0.27852	E	EW	EW
102	395365414774910848	2.749469	51.141326	17.84	0.1511	0.3513	E	EW	RS ECL
103	393768167977177216	2.051434	50.02236	19.11	0.259	0.29374	E	EW	EW
104	393752980972608768	2.234195	49.833612	16.49	0.0499	0.87398	E	EW	RS
105	394608950775225216	4.009876	50.955858	17.12	0.1904	0.22908	E	EW	EW
106	395407715915683072	2.230459	51.06545	15.9	0.1567	0.52698	E	EW	E
107	394984880672072576	4.07643	51.057003	17.3	0.323	0.35015	E	EW	EW
108	2262463706381878016	285.023464	70.339249	14.98	0.1041	0.25361	E	EW	EW
109	2265362053392441344	282.858106	70.260736	14.78	0.3658	0.35933	E	EW	EW
110	395230552801419136	3.135785	50.225591	13.58	0.0454	0.11625	Puls	DGS	
111	395228422497640192	3.370289	50.236349	13.8	0.0366	0.1	Puls	DGS	DGS
112	395225231341646336	2.586567	50.368908	14.16	0.0218	0.05	Puls	DGS	DGS
113	395216637105570048	2.53896	50.215033	13.64	0.0276	0.070833	Puls	DGS	DGS
114	394475639286763776	3.460441	50.100083	17.05	0.2232	0.151833	Puls	DGS	DGS
115	393709314043417472	2.70691	49.874564	13.65	0.0233	0.123908	Puls	DGS	DGS
116	395289621492439936	1.937173	50.621697	14.03	0.0218	0.035417	Puls	DGS	DGS
117	394602048764259840	4.172585	50.762445	14.36	0.0355	0.079167	Puls	DGS	DGS
118	2262857606422311040	285.228549	70.782716	14.11	0.0444	0.046808	Puls	DGS	DGS
119	2265495266098115200	283.000759	70.881247	12.41	0.0298	0.05	Puls	DGS	DGS

Таблица 2. (Продолжение)

№	Gaia DR3 source id	RA	Dec	G	Amp	P, days	Class	Type	Type cats
120	2262444052611330432	283.972003	70.085719	13.59	0.028	0.05	Puls	DGS	DGS
121	395244159258089472	2.868577	50.372147	17.89	1.0186	1.2504	Puls	RR	RR
122	2262481401647182208	284.258035	70.542965	15.96	1.4526	0.97982	Puls	RR	RR
123	395234439752169344	3.05832	50.420052	14.25	0.0072	0.33412	E Puls Rot	rot	
124	395233031002910848	3.074812	50.355225	15.54	0.0068	0.67725	E Puls Rot	EW rot DGS RR	DGS
125	395241513558355968	3.145331	50.510285	18.58	0.1117	0.58417	E Puls Rot	EW rot DGS RR	
126	395247148555693952	2.826295	50.482282	18.72	0.1076	1.3228	E Puls Rot	EW rot DGS RR	
127	395247285994643456	2.784514	50.477077	17.78	0.0666	0.23762	E Puls Rot	EW rot DGS RR	EW
128	395247698311551744	2.828034	50.535027	18.73	0.1332	0.48083	E Puls Rot	EW rot DGS RR	EW
129	395229487649686144	3.257887	50.272096	18.82	0.1033	0.35838	E Puls Rot	EW rot DGS RR	RS
130	395219248447600640	2.743739	50.244472	17.76	0.0438	0.66455	E Puls Rot	EW rot DGS RR	
131	395222169025392000	2.665364	50.269477	19.1	0.1996	0.34583	E Puls Rot	EW rot DGS RR	EW
132	395341225518297600	3.346583	50.765682	18.34	0.0773	0.31328	E Puls Rot	EW rot DGS RR	EW DGS
133	394481613585244928	3.720843	50.307102	17.01	0.0713	0.30537	E Puls Rot	EW rot DGS RR	RS DGS
134	395265363517361024	2.367273	50.322496	17.14	0.1571	1.5315	E Puls Rot	EW rot DGS RR	SL
135	395278347196623488	2.198794	50.603909	18.42	0.1772	0.24125	E Puls Rot	EW rot DGS RR	E
136	394599196905954432	3.882717	50.732298	14.15	0.0292	1.1489	E Puls Rot	EW rot DGS RR	DGS
137	395289788989565440	1.929221	50.659614	18.31	0.1173	0.31408	E Puls Rot	EW rot DGS RR	EW
138	394984743233106048	4.069788	51.040912	17.98	0.1049	0.30345	E Puls Rot	EW rot DGS RR	EW
139	394429769036291840	4.011307	49.742144	13.54	0.1844	0.54952	E Puls Rot	EW rot DGS RR	EW RR
140	2262865337363426688	284.555622	70.751203	14.37	0.0347	1.1425	E Puls Rot	EW rot DGS RR	
141	2262491773992539008	283.966466	70.67798	18.13	0.1338	0.41142	E Puls Rot	EW rot DGS RR	EW
142	2262485486160392832	283.983567	70.610705	17.84	0.0761	0.82792	E Puls Rot	EW rot DGS RR	BY
143	2262828946104484608	286.792306	71.022917	16.84	0.1056	0.23058	E Puls Rot	EW rot DGS RR	EW
144	2262444739806093696	283.857291	70.092501	17.02	0.0686	0.2715	E Puls Rot	EW rot DGS RR	EW
145	2262430136917524352	284.348247	69.940137	19.99	0.2302	0.24	E Puls Rot	EW rot DGS RR	
146	394576622557648128	3.61672	50.394126	14.57	0.1848	32.14	Puls	LPV	RS
147	394475845441467648	3.441362	50.133345	19.4	0.0807	3.2917	Puls	LPV	
148	395350644388701312	2.792577	50.775497	16.24	0.057	13.78	Puls	LPV	SL
149	2262855201241187968	284.889344	70.810036	16.7	0.0853	16.8125	Puls	LPV	BY RS
150	2262438898650595840	284.492419	70.112149	13.78	0.1333	6.275	Puls	LPV	BY

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования кривых блеска звезд в площадках WD 0009+501 и GRW +708247 с использованием алгоритмов поиска переменности и данных из каталогов переменных звезд составлен каталог из 150 звезд. Он содержит 109 затменно-переменных звезд (класса E), из которых большинство (47) относятся к типу EW, 38 — к EA, 11 — к EB|EW и 13 — к звездам с кандидатами в экзопланеты EP|BD|EA. Как пульсирующие (Puls) классифицированы 18 переменных звезд, из которых к типу RR относится 2, к (DSCT|GDOR|SXPHE) — 11 и к LPV — 5. Одна

звезда (WD 0009+501) отнесена к вращающемуся типу (rot), остальные 22 — к неоднозначно определенному типу EW|rot|DGS|RR.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

В дополнительных материалах, представленных онлайн, приведены кривые блеска исследованных нами объектов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Наблюдения на телескопах САО РАН выполняются при поддержке Министерства науки и выс-

шего образования Российской Федерации. Обновление приборной базы осуществляется в рамках национального проекта «Наука и университеты».

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Анализ переменных объектов выполнен при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-62-10013.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. Antonyuk, G. G. Valyavin, A. F. Valeev, et al., *Astrophysical Bulletin* **74** (2) (2019). DOI:10.1134/S1990341322040186
2. A. S. Baran, V. Van Grootel, R. H. Østensen, et al., *Astron. and Astrophys.* **669**, A48 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202244888
3. E. Bertin and S. Arnouts, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **117** 2, 393 (1996). DOI:10.1051/aas:1996164
4. X. Chen, S. Wang, L. Deng, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **249** (1), id. 18 (2020). DOI:10.3847/1538-4365/ab9cae
5. H. J. Deeg and R. Alonso, *Handbook of Exoplanets* (Springer International Publishing, Cham, 2018), pp. 633–657. DOI:10.1007/978-3-319-55333-7_117
6. T. Fetherolf, J. Pepper, E. Simpson, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **268** (1), id. 4 (2023). DOI:10.3847/1538-4365/acdee5
7. M. J. Green, D. Maoz, T. Mazeh, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **522** (1), 29 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad915
8. T. Jayasinghe, C. S. Kochanek, K. Z. Stanek, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **477** (3), 3145 (2018). DOI:10.1093/mnras/sty838
9. D.-W. Kim and C. A. L. Bailer-Jones, *Astron. and Astrophys.* **587**, id. A18 (2016). DOI:10.1051/0004-6361/201527188
10. G. Kovacs, S. Zucker, and T. Mazeh, *Astron. and Astrophys.* **391**, 369 (2002). DOI:10.1051/0004-6361:20020802
11. D. Lang, D. Hogg, K. Mierle, et al., *Astron. J.* **139** (5), 1782 (2010). DOI:10.1088/0004-6256/139/5/1782
12. N. R. Lomb, *Astrophysics and Space Science*, **39** (2), 447 (1976). DOI:10.1007/BF00648343
13. A. J. Norton, *Research Notes of the AAS* **2** (4), article id. 216 (2018). DOI:10.3847/2515-5172/aaf291
14. A. M. Price-Whelan et al. (Astropy Collab.), *Astrophys. J.* **935** (2), id. 167 (2022). DOI:10.3847/1538-4357/ac7c74
15. T. Prusti et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **595**, id. A1 (2016). DOI:10.1051/0004-6361/201629272
16. N. N. Samus', E. V. Kazarovets, O. V. Durlevich, et al., *Astronomy Reports* **61** (1), 80 (2017). DOI:10.1134/S1063772917010085
17. J. D. Scargle, *Astrophys. J.* **263**, 835 (1982). DOI:10.1086/160554
18. M. Skarka, J. Zák, M. Fedurco, et al., *Astron. and Astrophys.* **666**, id. A142 (2022). DOI:10.1051/0004-6361/202244037
19. K. V. Sokolovsky, P. Gavras, A. Karampelas, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **464** (1), 274 (2016). DOI:10.1093/mnras/stw2262
20. I. Soszyński, A. Udalski, R. Poleski, et al., *Acta Astronomica* **62** (3), 219 (2012). DOI:10.48550/arXiv.1210.1219
21. A. Valeev, K. Antonyuk, N. Pit, et al., *Astrophysical Bulletin* **70** (3), 318 (2015). DOI:10.1134/S1990341315030104
22. A. Valeev, K. A. Antonyuk, N. V. Pit, et al., *Astrophysical Bulletin* **72** (1), 44 (2017). DOI:10.1134/S1990341317030051
23. A. Vallenari et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **674**, id. A1 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202243940
24. G. Valyavin, G. Beskin, A. Valeev, et al., *Photonics* **9** (12), 950 (2022a). DOI:10.3390/photonics9120950
25. G. Valyavin, G. Beskin, A. Valeev, et al., *Astrophysical Bulletin* **77** (4), 495 (2022b). DOI:10.1134/S1990341322040186
26. J. T. VanderPlas, *Astrophys. J. Suppl.* **236** (1), article id. 16 (2018). DOI:10.3847/1538-4365/aab766
27. R. Warren-Smith, P. Draper, M. Taylor, and A. Allan, *Astrophysics Source Code Library*, ascl:1403.021 (2014).
28. C. Watson, A. Henden, and A. Price, *VizieR Online Data Catalog: B/vsx* (2009).
29. J. N. Winn, arXiv e-prints astro/ph:1001.2010v5 (2010). DOI:10.48550/arXiv.1001.2010
30. O. Yakovlev, A. Valeev, G. Valyavin, et al., *Front. Astron. Space Sci.* **9**, id. 903429 (2022). DOI:10.3389/fspas.2022.903429
31. O. Yakovlev, A. Valeev, G. Valyavin, et al., *Astrophysical Bulletin* **78** (1), 79 (2023). DOI:10.1134/S1990341323010108
32. H. Zhang, Z. Yu, E. Liang, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **240** (2), article id. 16 (2019). DOI:10.3847/1538-4365/aaec0c

Catalog of Variable Stars in the WD 0009+501 and GRW +708247 Fields Based on Photometric Survey Data on Transiting Exoplanets

O. Ya. Yakovlev¹, A. F. Valeev^{1,2}, G. G. Valyavin¹, V. N. Aitov¹, G. Sh. Mitiani¹, T. A. Fathullin¹, G. M. Beskin^{1,3}, A. V. Tavrov⁴, O. I. Korablev⁴, G. A. Galazutdinov^{2,1}, V. V. Vlasyuk¹, E. V. Emelianov¹, V. V. Sasyuk³, A. V. Perkov⁵, S. F. Bondar^{5†}, T. E. Burlakova^{1,2}, S. N. Fabrika¹, and I. I. Romanyuk¹

¹Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Arkhyz, 369167 Russia

²Crimean Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nauchny, 298409 Russia

³Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, 420008 Russia

⁴Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 117997 Russia

⁵Research and Production Corporation “Precision Systems and Instruments”, Moscow, 111024 Russia

The light curves for almost 50 thousand stars with magnitudes $m \in [11^m 5, 19^m 5]$ have been obtained over 2.5 years at SAO RAS in the process of conducting an exoplanet survey in roughly $1^{\circ}5$ -sized fields around the white dwarfs WD 0009+501 and GRW +708247. In this paper we present a catalog of variable stars that have been found in the considered regions. Periodogram analysis was used as the main variation search method. The catalog includes 150 periodic variable stars: 113 of them have been known previously, and for the remaining 37 variations have been discovered for the first time. These stars were classified according to the nature of the variations into four eclipsing variable and three pulsating types, as well as rotating stars. We present the periods and variation amplitudes in the range of $P \in [0^d 036, 32^d 14]$ and $\Delta m \in [0^m 0064, 1^m 45]$, determined from the investigated data.

Keywords: *methods: observational—techniques: photometric—stars: variable—binary: eclipsing—exoplanets*