

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПОЛЯРА DO Dra В 2008 И 2019гг.

Ю.В.БАБИНА¹, Е.П.ПАВЛЕНКО¹, М.В.АНДРЕЕВ^{2,3}

Поступила 2 октября 2019

Принята к печати 11 марта 2020

Представлен анализ фотометрических наблюдений промежуточного поляр DO Dra, полученных в эпоху кардинального уменьшения его вспышечной активности для различного среднего блеска системы: $13^m.6-12^m.8$ (2008) и $14^m.7-14^m.3$ (2019). Наблюдения проводились в 2008г. в полосах системы Джонсона *BVR* и в 2019г. в интегральном свете. Впервые по квазисовременным наблюдениям в полосах *BVR* была зарегистрирована орбитальная модуляция блеска в виде двугорбой кривой в каждой из полос, предположительно вызванная эллипсоидальностью вторичного компонента. В течение шести ночей в полосах *BVR* (2008г.) и одной ночи в интегральном свете (2019г.) наблюдались устойчивые квазипериодические колебания в окрестностях 0.02 сут. В ночь JD 2458575 (2019г.) было зарегистрировано увеличение блеска на $0^m.7$ за 3 мин, сменившееся экспоненциальным затуханием. Всплеск длился около часа, в течение первой половины были обнаружены колебания с периодом около 0.006 сут., и амплитудой $0^m.1$, которые могут иметь отношение либо к периоду вращения белого карлика, либо к квазипериодическим колебаниям. Природа всплеска пока не выяснена, в статье рассмотрены возможные причины этого явления.

Ключевые слова: *DO Dra: катаклизмические переменные: промежуточный поляр*

1. *Введение.* DO Dra - это тесная двойная система, состоящая из звезды позднего спектрального класса, которая заполняет свою полость Роша, вследствие чего происходит перетекание вещества через внутреннюю точку Лагранжа на вторую звезду - белый карлик. В зависимости от величины магнитного поля белого карлика, такие системы делят на дисковые, поляры и промежуточные поляры. DO Dra относится к системам типа DQ Her - промежуточные поляры. В таких системах белые карлики имеют достаточную величину магнитного поля, чтобы разрушить внутреннюю часть аккреционного диска, где вещество начинает течь вдоль силовых линий магнитного поля, образуя искривленные "занавесы" светящегося вещества ("аккреционные куртины"), и выпадает на белый карлик в окрестности магнитных полюсов [1].

DO Dra был обнаружен как источник рентгеновского излучения 2A 1150+720 и позже был классифицирован Паттерсоном и др. [2] как катаклизмическая переменная. Этот объект был также обнаружен как катаклизмическая переменная в обзоре Паломар-Грин и указан как PG 1140+719 [3]. Тогда же этот объект

предложили идентифицировать с ранее зарегистрированной переменной YY Dra из-за близких координат. В.П.Цесевич обнаружил YY Dra по московским пластинкам, как переменную звезду типа Алголь, которая получила предварительный номер SVS 504 Dra, с координатами $\alpha_{1855} = 11^{\text{h}}35^{\text{m}}15^{\text{s}}$ и $\delta_{1855} = +72^{\circ}30'.4$, с эфемеридой $T_{\text{min}} = 2419852.4 + 4^{\text{d}}.21123 E$ и яркостью в диапазоне $12^{\text{m}}.9$ - $14^{\text{m}}.5$ [4]. Далее в общем каталоге переменных звезд эта звезда получила название YY Dra. Объект YY Dra в настоящее время должен иметь координаты $\alpha_{2000} = 11^{\text{h}}43^{\text{m}}34^{\text{s}}.41$ и $\delta_{2000} = +71^{\circ}42'9''$, но по этим координатам видимой звезды нет. Венцелю [5] не удалось, по опубликованным координатам YY Dra, найти звезду 12^{m} , зато он на двух из 700 пластинок обнаружил эруптивный объект на месте PG 1140+719, и классифицировал его как карликовую новую. Это была определенно не затменная переменная с четким периодом, и, таким образом, этому объекту дали новое официальное название DO Dra [6,7]. В статье Паттерсона и др. [8] приводится обсуждение названия этой звезды. К сожалению, большая часть пластинок, по которым Цесевич обнаружил YY Dra, пропала во время Второй Мировой войны и поэтому истинное положение YY Dra до сих пор остается загадкой. Возможно, что в координатах объекта, приведенных в работе Цесевича [4], была допущена ошибка. В статье Вирниной [9] приводится результат поиска этой звезды под названием проект "Цесевича".

DO Dra - в высшей степени переменный объект, показывающий колебания блеска на шкале от десятков лет до десятков секунд. Согласно AAVSO, долговременная кривая блеска, построенная на интервале около 37 лет (см. рис.1), содержала и вспышки, и нерегулярные изменения блеска. Вспышки амплитудой до 4^{m} - 5^{m} наблюдались до ~2007г., причем амплитуда их постепенно падала. С

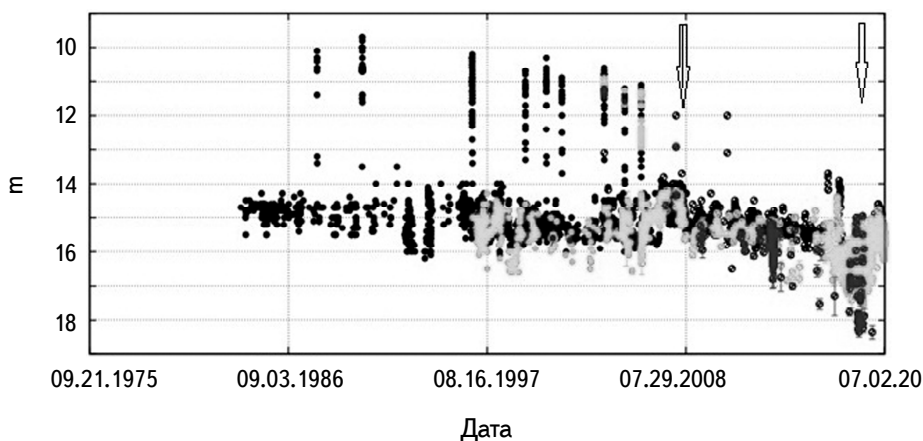


Рис.1. Общая кривая AAVSO с 1982г. DO Dra. Стрелки указывают на моменты наших наблюдений.

момента открытия объекта до 2007г. по данным AAVSO было зарегистрировано 11 вспышек, из которых одна в максимуме блеска достигла $9^m.6$, максимальный блеск шести вспышек был в интервале 10^m-11^m , четырех - в интервале 11^m-12^m , двух (возможно, больше) - в интервале 13^m-14^m . Начиная с 2008г. (т.е. последние 10 лет), вспышки с амплитудой больше 1^m не наблюдаются. При этом можно заметить, что средний уровень блеска монотонно падает, а минимальный его уровень (нижняя огибающая кривой) достигает 18^m . Вспышечную активность исследовали также Андронов и др. [10] и Шимон [11]. Шимон [11] нашел период вспышек у DO Dra около 870 дней и показал, что они отличаются от вспышек, происходящих в немагнитных системах. У Андропова и др. [10] период вспышек составляет $\sim 311 \div 422$ д.

Паттерсон и др. [2] первыми дали грубую оценку орбитального периода объекта по фотометрии и спектроскопии (3.9 часа). Затем последовали его уточнения. Маттео и др. [12] определили период как 3.96 ч, а Хасвелл и др. [13] по 14-летнему ряду наблюдений нашли его точную величину $3.968976 \text{ ч} = 0.16537398(17) \text{ сут.}$ Паттерсон и др. [14] по оптическим наблюдениям обнаружили периодичности 265, 275 и 550 с ($=2 \cdot 275 \text{ с}$). Они предположили, что период вращения белого карлика должен составлять 529 с ($\sim 2 \cdot 265 \text{ с}$), а не 550 с, что на 21 с больше периода вращения и связан с переработкой высокоэнергетического излучения в структурах, фиксированных в орбитальной плоскости (например, яркое пятно на краю аккреционного диска). Годом позже Бюерман и Томас [15] по рентгеновским наблюдениям на телескопе ROSAT определили период вращения белого карлика как 529.22(8) с, а Паттерсон и Шкоди [16] в разных сетах наблюдений этого же телескопа нашли первую гармонику этого периода (264.6(1.4) с). Наиболее точную величину периода вращения белого карлика 529.31(2) с получили Хасвелл и др. [13] из анализа наблюдений в ультрафиолетовом континууме и в оптике. Авторы пришли к выводу, что активны оба магнитных полюса белого карлика. Они также зарегистрировали период 273 с, близкий к периоду, найденному ранее Паттерсоном. Андронов и др. [10] по данным фотометрических наблюдений вспышки 2006г. показали существование квазипериодических колебаний с периодом около 30 мин (0.021 сут.) и предположили, что они связаны с иррадиацией облака, которое движется по направлению к белому карлику.

Паттерсон и др. [14] классифицировали объект как карликовую новую типа DQ Нег, а Нортон и др. [17] подчеркнули, что DO Dra относится еще и к редкой подгруппе промежуточных полярных, у которых есть вспышечная активность.

2. Наблюдения. В статье представлены результаты фотометрических ПЗС наблюдений DO Dra в течение восьми ночей 2008г. (10 января - JD 2454476, 1-5 февраля - JD 2454498-2454502, 14 мая - JD 2454601) и 1 апреля

2019г. - JD 2458575. Данные 2008г. получены в Терскольской обсерватории на 60-см телескопе с ПЗС PixelVision в системе Джонсона в полосах *BVR* и в Крымской астрофизической обсерватории с ПЗС Arogee 47 P на 38-см телескопе в 2019г. в интегральном свете. Общее время наблюдений составило 72ч. При обработке изображений, полученных в 2008г., использовалась звезда сравнения C1: $\alpha = 11^{\text{h}}42^{\text{m}}58^{\text{s}}.9$ и $\delta = +71^{\circ}40'27''$ из работы Бояда [18] (USNO B1: $B=11^{\text{m}}.32$, $V=10^{\text{m}}.78$, $R=10^{\text{m}}.76$), а при обработке наблюдения 2019г. для калибровки шкалы звездных величин мы использовали данные из работы Андропова и др. [10] C1: $\alpha = 11^{\text{h}}43^{\text{m}}23^{\text{s}}.3$ и $\delta = +71^{\circ}42'42''$ ($B=15^{\text{m}}.082$, $V=14^{\text{m}}.28$, $R=13^{\text{m}}.84$). Средний блеск DO Dra в это время колебался в пределах $V \sim 13^{\text{m}}.3-14^{\text{m}}$.

3. *Кривые блеска.* Наши наблюдения DO Dra в 2008г. пришлись на эпоху исчезновения вспышек (рис.1). Долговременная кривая блеска для 2008г. показана на рис.2, а на рис.3 приведены кривые блеска для каждой ночи (кроме JD 2454501) в полосах *BVR*. Форма кривых блеска различна от ночи к ночи. По кривым блеска видно, что поведение системы изменяется

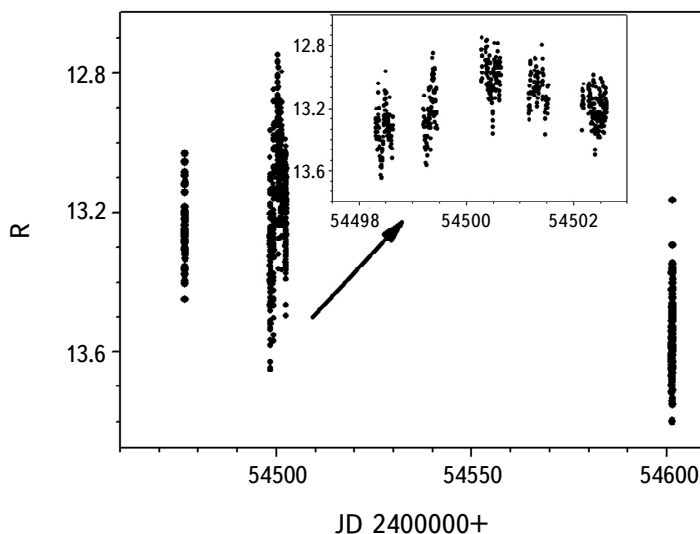


Рис.2. Общая кривая блеска наблюдений 2008г.

одинаково во всех фильтрах в течение каждой ночи. Система ярче в полосе *R*. В ночь JD 2454498 и JD 2454500 видны глубокие широкие и узкие минимумы блеска соответственно, с амплитудой $0^{\text{m}}.6$. Кривые блеска показывают переменность на разных временных шкалах.

4. Анализ мультипериодических колебаний блеска.

4.1. *Орбитальный период.* На рис.4 мы приводим периодограмму в

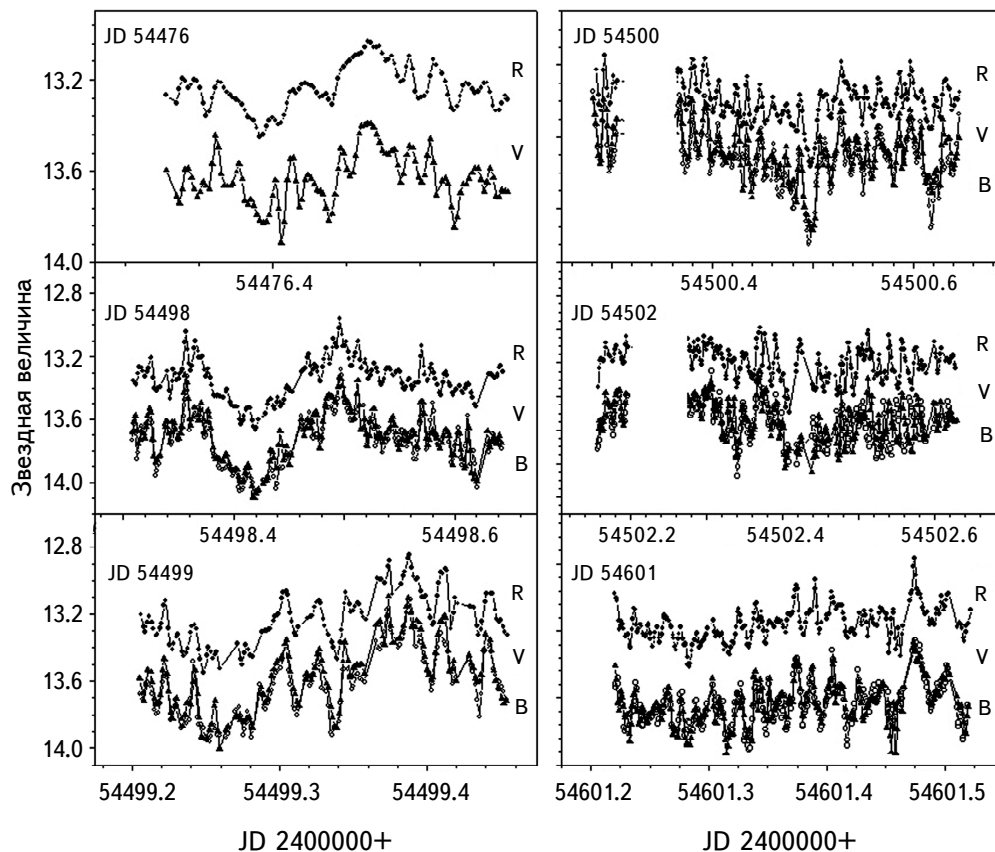


Рис.3. Кривые блеска, полученные в 2008г. в полосах *BVR*. Для каждой ночи в поле рисунка указана соответствующая юлианская дата (пять последних цифр).

области орбитального периода и его половинной величины, построенную с помощью метода Стеллингверфа, используя пакет программ ISDA [19] для данных 2008г. Наиболее значимый период в окрестности орбитального периода оказался 4.1 ч (0.1714 сут.), но в области $1/2$ периода наиболее значимым оказался период 0.08283 сут., что очень близко к половине орбитального периода $P_{\text{orb}}/2$.

Используя эфемериду для одного из минимумов, соответствующего внешнему соединению звезды-донора, $HJD = 2446863.4376 + 0.16537398E$ из работы [13], нами были построены фазовые диаграммы для всех ночей 2008г. в полосах *BVR*. На рис.5 приведены соответствующие средние фазовые кривые.

Из рис.5 можно видеть, что в течение орбитального периода фазовая кривая имеет двугорбый вид во всех полосах с минимумами около фаз 0 и 0.5 и амплитудой $0^m.1$. Отметим хорошее совпадение минимума на фазе 0 с эфемеридным значением. Это первая регистрация двугорбой орбитальной

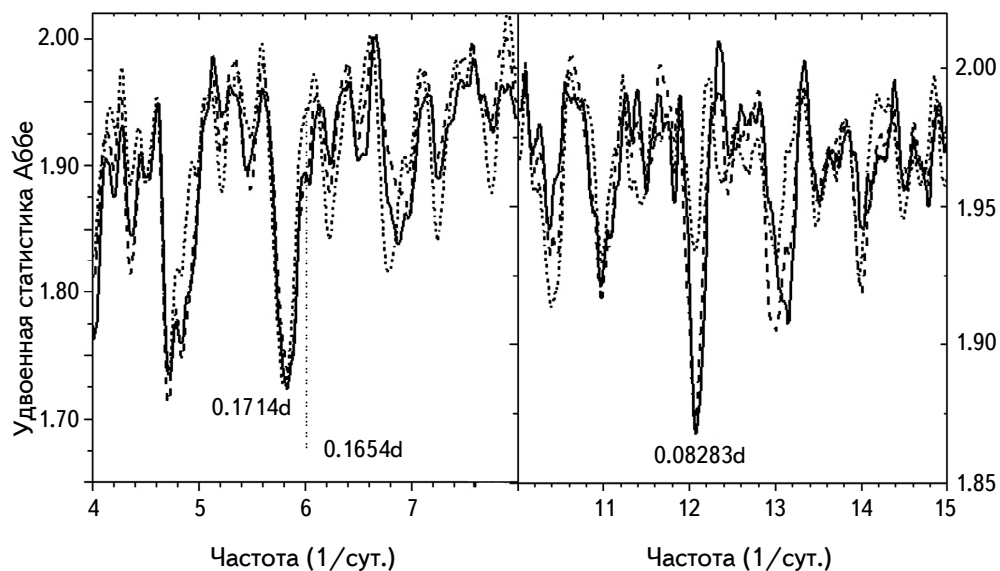


Рис.4. Периодограммы в окрестностях P_{orb} (слева) и $P_{orb}/2$ (справа) для полос BVR . Сплошной линией приведены периодограммы в полосе R , пунктирной - в V , точечной - в B .

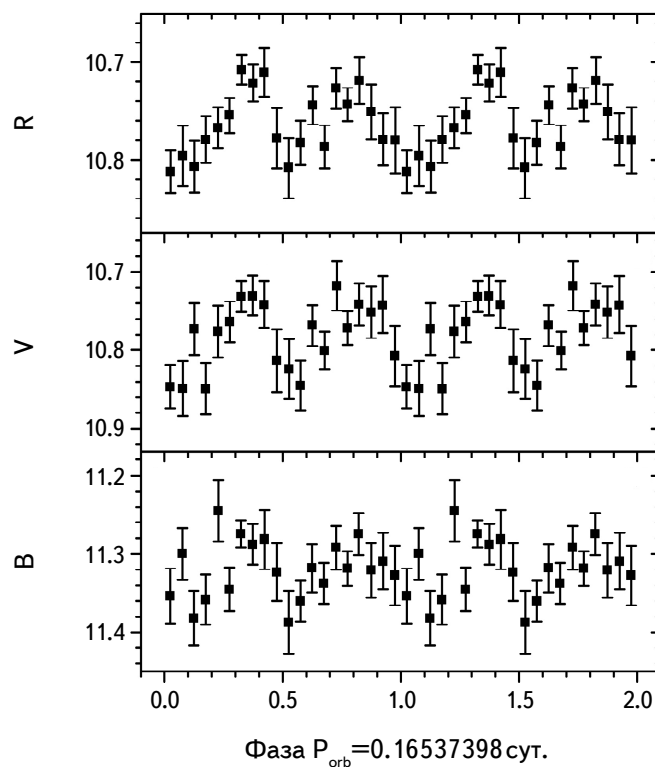


Рис.5. Средние фазовые кривые в полосах BVR по данным 2008г.

кривой блеска квазисовременно в полосах *BVR*. Ранее Хасвелл и др. [13] получили двугорбый профиль кривой в полосе *I*, но односторонний в полосах *UBVR*, а Меттео и др. [12] сообщили о двугорбом профиле в полосе *B* (с амплитудой около $0^m.2$) и в квазиинфракрасной полосе (с амплитудой около $0^m.4$). Авторы указали на возможные источники переменности, формирующие профиль орбитальной кривой - эллипсоидальность вторичного компонента, эффект отражения и вклад аккреционного диска, однако сами же отметили, что объяснения не очень удовлетворительны. Двугорбый профиль орбитальной кривой во всех цветовых полосах может говорить о том, что основным источником переменности блеска DO Dra в 2008г. был эффект эллипсоидальности вторичного компонента.

4.2. *Квазипериодические колебания с характерным временем 0.02 сут.* На рис.6 приведены периодограммы для шести ночей (рис.3) в полосах *BVR* в области частот от 40 до 70 сут⁻¹. Они показывают наиболее значимую частоту около 50 сут⁻¹ ($P=0.02$ сут.) во всех полосах. Эта частота близка к частоте ранее наблюдаемых квазипериодических колебаний с характерным временем 0.021 сут., наблюдавшихся Адроновым и др. [10].

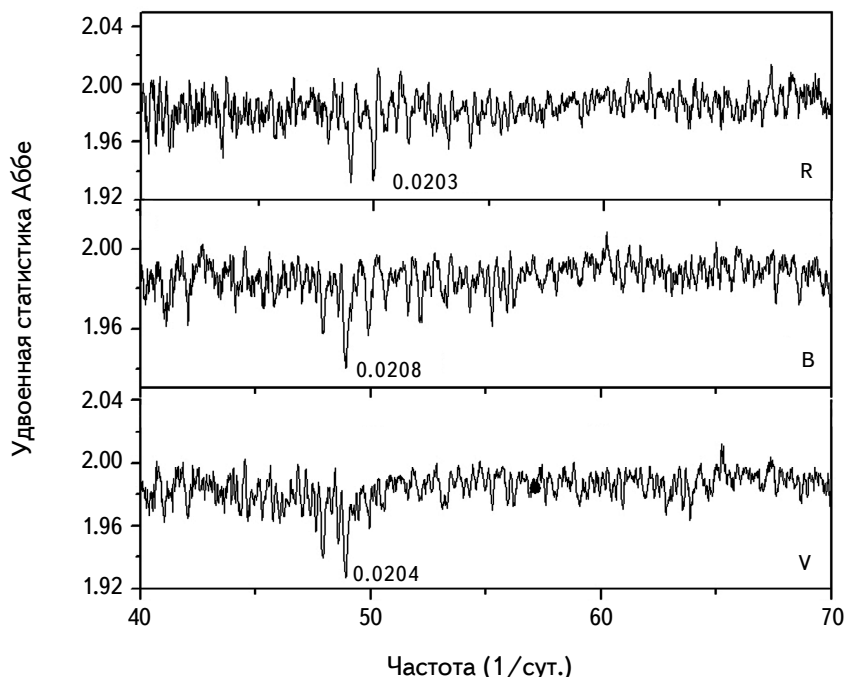


Рис.6. Периодограммы для шести ночей 2008г. в полосах *BVR* в диапазоне частот квазипериодических колебаний, найденных ранее [10]. Подписаны наиболее значимые периоды (в сутках).

4.3. *Период вращения.* Для исследования наличия периода вращения по нашим данным, были построены периодограммы в диапазоне частот от 100 сут.^{-1} до 325 сут.^{-1} [19] для каждой из шести ночей наиболее плотного ряда наблюдений (рис.7). Частоты, на которых должен наблюдаться период вращения белого карлика 529.31 с и его первая гармоника 265 с , наблюдавшиеся ранее [13,14], на рис.7 обозначены сплошными линиями. Пунктирными линиями на рис.7 отмечены квазипериоды 550 с и его первая гармоника 275 с , обнаруженные Паттерсоном и др. [14].

Из графиков видно, что ни в одну из ночей период вращения белого карлика и его первая гармоника явно не видны. А период 550 с и 275 с видны только в ночь JD 54476. Недостаточно большая амплитуда колебаний с периодом вращения белого карлика - отличительная особенность DO Dra. Существует несколько предположений, объясняющих эту особенность. В работе [16] отсутствие колебаний, связанных с вращением в период покоя

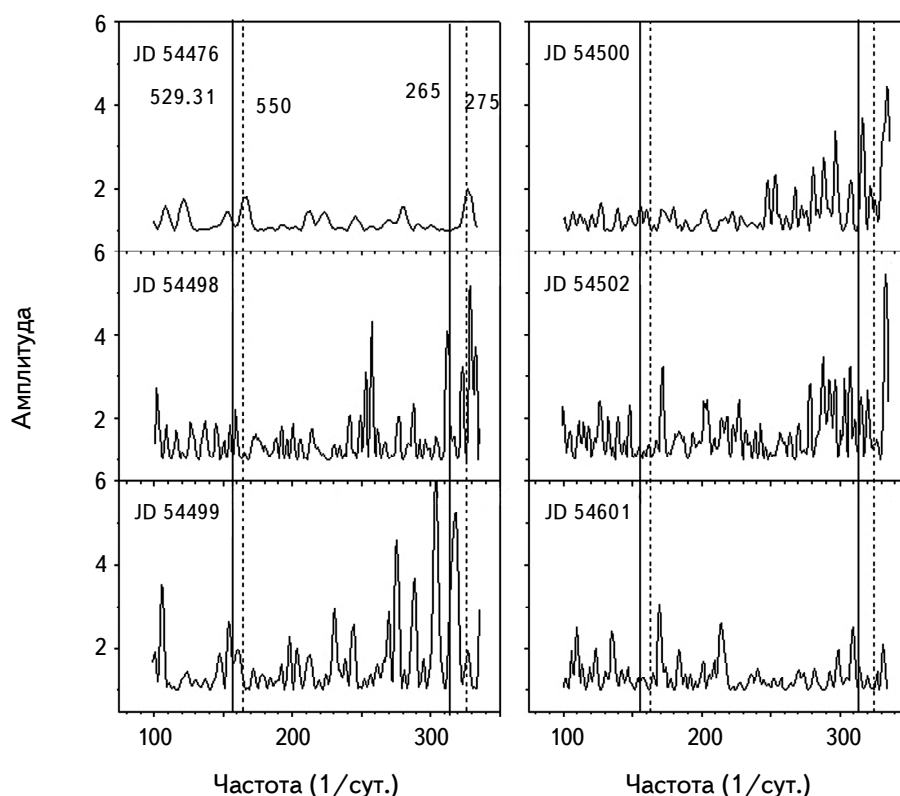


Рис.7. Периодограммы для шести ночей 2008г. в диапазонах частот периода вращения белого карлика и наблюдавшихся ранее квазипериодических колебаний. Для каждой ночи в поле рисунка указана соответствующая юлианская дата (пять последних цифр). Сплошная линия показывает положение периода вращения 529.31 с с первой гармоникой 265 с , а пунктирная линия - квазипериод 550 с и его первую гармонику 275 с .

DO Dra, объясняют его специфической геометрией, где наклон оси вращения равен $45^\circ \pm 5^\circ$ [12], и в сочетании с расположением полюсов в экваториальной плоскости белого карлика, приводит к непрерывной видимости магнитных полюсов, когда один заходит за лимб, появляется другой [16]. Увеличение амплитуды колебаний вращения белого карлика может произойти в результате асимметрии аккреции на двух полюсах, или в результате изменения видимости обоих полюсов за счет увеличения высоты аккреционной колонки, которая видна дольше, чем аккреционная область на другом полюсе. В работе [17] DO Dra приписывают слабое магнитное поле, в результате чего аккреция в области магнитных полюсов идет не в виде аккреционного потока, а в виде куртин, из-за которых появляются квазипериодические колебания, на фоне которых не видно колебаний, связанных с вращением.

5. *Мультипеременность блеска 1 апреля 2019г.* На рис.8 приведены исходные данные наблюдений 1.04.2019 (JD 2458575). Поскольку максимум чувствительности матрицы близок к эффективной длине волны полосы R , мы приписываем наблюдениям, выполненным в интегральном свете, нуль-

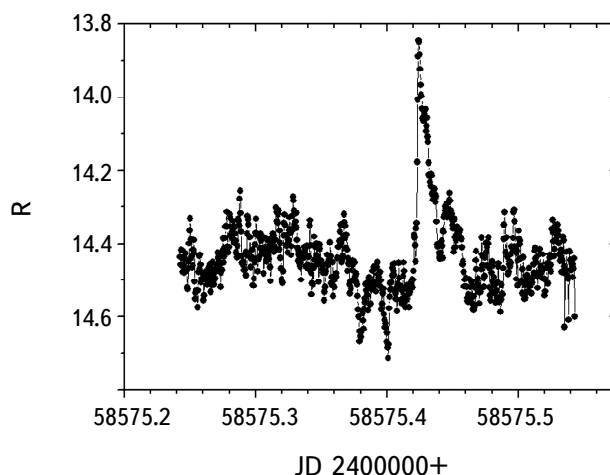


Рис.8. Кривая блеска, полученная 1 апреля 2019г.

пункт шкалы R . На кривой хорошо видна мультипеременность в изменении блеска на шкале минуты-часы с амплитудой $0^m.2$ - $0^m.25$. Наиболее впечатляющим событием является кратковременный всплеск яркости в интервале HJD 2458575.41 - 2458575.44. За 3 мин блеск вырос на $0^m.7$, после чего он медленно падал до исходного состояния.

5.1. *Орбитальная модуляция.* Используя эфемериду для орбитального периода, где нуль-пункт соответствует внешнему соединению вторичного компонента $HJD = 2446863.4376 + 0.16537398E$ [13] и, предварительно убрав

данные, относящиеся к вышеупомянутому всплеску, мы построили фазовую кривую (рис.9). Разброс данных на кривой обусловлен более короткопериодическими колебаниями (см. ниже), а минимум верхней огибающей кривой совпадает с расчетным минимумом, согласно эфемериде [13].

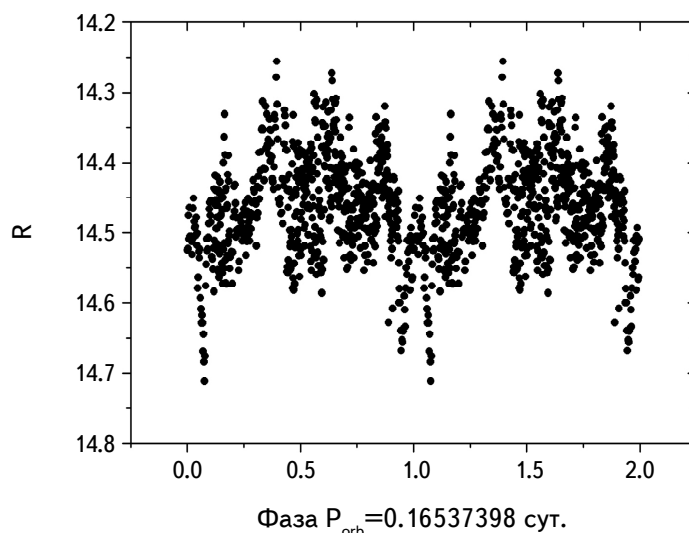


Рис.9. Свертка данных JD 2458575 с орбитальным периодом P_{orb} .

5.2. Короткопериодические колебания. Для определения характера короткопериодических колебаний вне всплеска, вычтя "орбитальную" кривую из данных, мы построили периодограмму (рис.10) с помощью преобразования Фурье, используя пакет программ ISDA [19].

Наиболее значимые пики на периодограмме указывают на период $2P=0.042$ сут. и $P=0.02083$ сут. Это именно тот период, который наблюдался в предыдущие годы [10] и был определен как квазипериод. Большая значимость удвоенного периода, возможно, вызвана статистическими эффектами - различной амплитудой колебаний от цикла к циклу.

5.3. Кратковременный всплеск. Определим характеристики кратковременного всплеска. На нижней панели рис.10 приведены свертки данных с периодом $P=0.02083$ сут. - отдельно для кратковременного всплеска и остальных данных этой ночи. Из кривой видно, что продолжительность кратковременного всплеска была соизмерима с длительностью двух соседних циклов ("a" и "b") 0.02-сут. колебаний, поэтому будем считать, что всплеск был двухкомпонентный, т.е., имел два максимума "a" и "b". Амплитуда максимума "a" составила $0^m.7$, а максимума "b" - $0^m.25$. Также видно, что на кривую всплеска накладывались и более короткопериодические колебания,

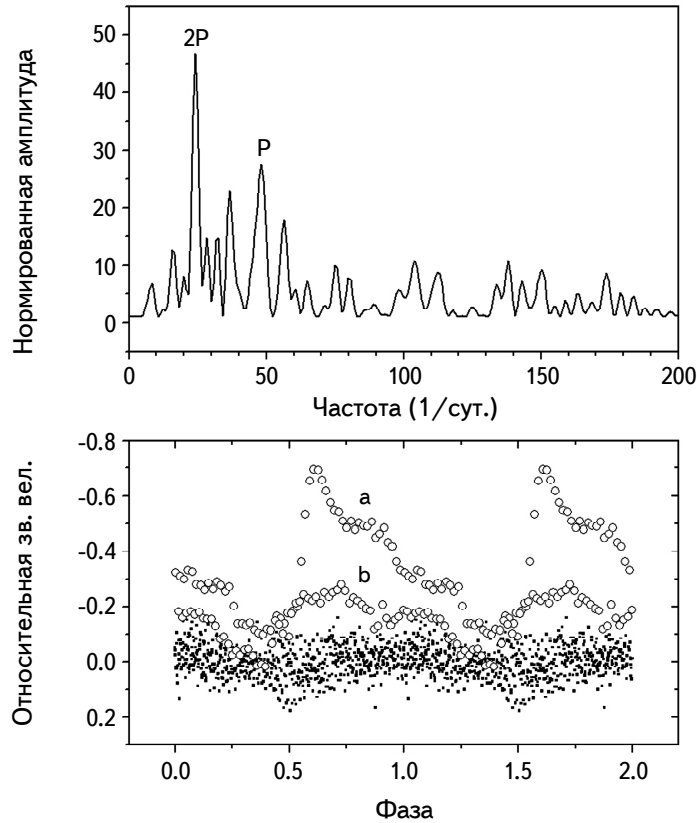


Рис.10. Периодограмма по данным 2019г. Отмечены наиболее значимые периоды P и $2P$ и свертка данных с периодом $P = 0.02083$ сут. Открытыми значками показаны данные, относящиеся к всплеску.

анализ которых будет проведен отдельно. Мы предположили, что в присутствии квазипериодических колебаний, которые накладывались на всплеск, его профиль будет лучше представлен нижней огибающей данных (рис.11). В данной модели всплеск представляет собой быстрое линейное увеличение блеска ($0^m.7$ за 3 мин.), последующее линейное ослабление с несколько меньшей скоростью ($0^m.2$ за 3 мин.) и медленное затухание, близкое к экспоненциальному.

5.4. Колебания блеска с периодом 0.006 сут. Вычтя из данных нисходящей ветви всплеска тренд, соответствующий профилю кривой, мы проанализировали остатки для частей кривой "a" и "b", построив соответствующие периодограммы (рис.12). В результате нами были обнаружены колебания блеска с периодом 0.006 сут. (рис.12) и амплитудой $0^m.1$ только в течение первой половины всплеска (т.е., части кривой "a"). Из-за недостаточной статистики пик на периодограмме, указывающий на данный период, довольно широк. Он с равной вероятностью охватывает как период

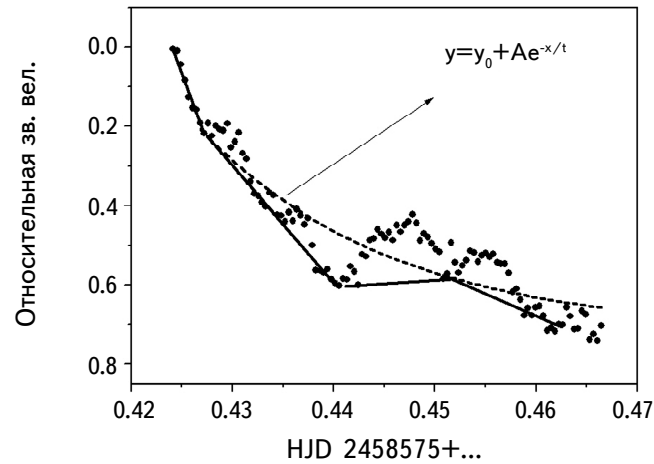


Рис.11. Кривая блеска всплеска. Точки - данные наблюдений, сплошная линия - нижняя огибающая данных как модель профиля всплеска с двумя максимумами, пунктирная линия - модель экспоненциального затухания.

вращения белого карлика 529 с (0.006126 сут.) [13], так и близкий к нему период квазипериодических колебаний 550 с (0.006366 сут.) [14]. В то же

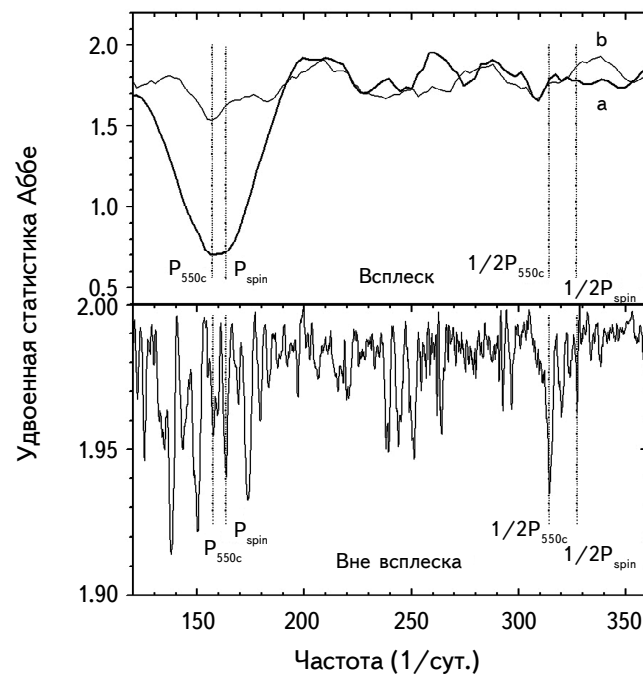


Рис.12. Вверху: периодограмма для частей всплеска "а" (жирная линия) и "б" (тонкая линия). Точечными линиями отмечены положения периода вращения белого карлика 529.31 с (P_{spin}), квазипериода 550 с (P_{550c}) и их первых гармоник. Внизу: периодограмма для данных вне всплеска.

время данные вне всплеска не содержат значимых колебаний с этими периодами, хотя можно заподозрить незначительные колебания с периодом, равным первой гармонике 550 с колебаний.

6. *Кратковременные короткопериодические колебания у катаклизмических переменных в целом и DO Dra, в частности.* В литературе отмечены регистрации редко встречающихся кратковременных (десятки минут) и высокоамплитудных (от нескольких десятых до нескольких звездных величин) вспышек (или всплесков яркости) у катаклизмических переменных с различной напряженностью магнитного поля белого карлика (поляры и промежуточные поляры), вплоть до отсутствия магнитного поля (новоподобные системы). Эти события могут быть связаны либо с аккреционным диском вокруг белого карлика, либо со вторичным компонентом системы. Так, у известного поляра AM Her Шаховской и др. [20] в 1992г. впервые обнаружили беспрецедентную "голубую" вспышку, длившуюся 30 мин и имевшую амплитуду $2^m.54$, $2^m.36$, $2^m.14$, $1^m.71$, $0^m.84$ в полосах *UBVRI*, соответственно. Восходящая ветвь вспышки длилась всего три минуты. Авторы связали это явление со вспышкой компонента-донора - красного карлика типа UV Cet. Хеллиер [21] приводит примеры всплесков, наблюдавшихся у промежуточного поляра TV Col и поляра QS Tel. В первом случае всплеск длился около 12 ч и для него найдены доказательства того, что он был вызван увеличенным переносом вещества от красного карлика. Предполагается, что причиной двух всплесков в системе QS Tel, длившихся 25-95 мин [22], могло быть либо увеличение переноса вещества, либо вспышка на красном карлике.

Недавно Скаринжи и др. [23] опубликовали анализ оптических наблюдений новоподобной катаклизмической переменной MV Lyr в глубоком минимуме блеска, полученных обсерваторией Кеплер. Авторы обнаружили 30 мин вспышки с амплитудой до $\sim 2^m$, повторяющиеся каждые два часа в интервале нескольких суток. Подобное явление наблюдалось и ранее [24] у MV Lyr в глубоком минимуме 1995г. в течение одной ночи. Кривая блеска на протяжении примерно двух часов представляла собой последовательность вспышек с характерным временем 20-40 мин и амплитудой около 1^m . Скаринжи и др. [23] считают, что данный феномен указывает на наличие непостоянной магнитно-регулируемой аккреционной моды, что, в свою очередь, подразумевает магнитно-запертые циклы аккреции в магнитном поле белого карлика, которое, по их оценкам, составляет $2 \cdot 10^4 - 10^5$ Гс и слишком мало, чтобы его можно было зарегистрировать современными приборами.

У карликовой новой в "провале периодов" [1] V1006 Cyg в спокойном состоянии блеска были обнаружены квазипериодические колебания, боль-

шинство которых имело характерное время 20-30 мин, а амплитуда в отдельные ночи достигала $0^m.5$ [25]. Эти колебания блеска не являлись редкими для данной звезды, однако их характерное время совпадает с характерным временем колебаний, приведенных выше для разных катаклизмических переменных. Авторы предположили, что эти колебания можно объяснить в рамках модели неоднородностей в аккреционном диске, описанных Фридманом и Бисикало [26]. В соответствии с моделью, если в двойной системе произошло увеличение темпа аккреции, в диске может образоваться сгусток, движущийся со скоростью 0.15-0.18 орбитального периода, представляющий собой однорукавную спиральную волну плотности [27,28].

Чисто морфологически наблюдавшийся нами всплеск имеет некоторые общие характеристики с вышеупомянутыми явлениями - похожая длительность (~60 мин), как у AM Her и MV Lyr, и такое же время возрастания блеска (3 мин), как у AM Her, однако мы ничего не можем сказать о цветовых характеристиках всплеска. Профиль всплеска, имеющий два максимума и экспоненциальное угасание, характерен для многих звезд типа UV Cet [29]. В то же время длительность этого события приблизительно совпала с характерным временем квазипериодических колебаний (или, по определению Андропова и др., ТПО - транзиентных периодических колебаний) около 0.02 сут., которые наблюдались Андроновым и др. [10] и подтверждены нами в данной работе. В этом случае редкостью является внезапное ~4-кратное увеличение амплитуды этих колебаний по сравнению со средней амплитудой. Если, согласно модели Андропова и др. [10], 30 мин колебания связаны со светящимся облаком, которое находится внутри полости Роша белого карлика, то быстрое увеличение его блеска может быть вызвано либо быстрым увеличением темпа переноса вещества, либо вспышкой типа UV Cet на красном карлике. Белый карлик в этом случае мог откликнуться на увеличившуюся аккрецию увеличением излучения из двух магнитных полюсов, а переработка этого излучения некими структурами в аккреционном диске (в соответствии с моделью Паттерсона и др. [14]) выглядела бы как появление колебаний с периодом 550 с. Отметим, что по нашим данным амплитуда этих колебаний в интегральном свете составила $0^m.1$, что намного выше зарегистрированных Паттерсоном и др. [14] амплитуд в полосах оптического диапазона: $0^m.046$ (*U*), $0^m.020$ (*B*), $0^m.016$ (*V*).

Очевидно, на данном этапе исследований нельзя сделать вывод о природе наблюдавшегося всплеска яркости DO Dra: связан ли он со вспышкой на красном компоненте системы, или с неоднородностями в аккреционном диске, или и с тем и с другим.

7. Заключение. В работе приведены результаты многоцветной фотометрии

DO Dra в течение шести ночей в полосах *BVR*, полученных в 2008г., и одной ночи в интегральном свете - в 2019г. В это время система находилась в состоянии существенно пониженной вспышечной активности.

Из анализа кривых блеска 2018г. было выявлено наличие орбитального периода квазисовременно в полосах *BVR*, в которых средняя кривая блеска имела двугорбый вид. Это первая регистрация двугорбой орбитальной кривой блеска в полосах *BVR*. Сделан вывод, что причиной орбитальной модуляции блеска во время наших наблюдений был эффект эллипсоидальности вторичного компонента.

В ночь JD 2458575 был зарегистрирован всплеск яркости в интегральном свете, профиль которого выглядел как кривая с двумя максимумами и экспоненциальным затуханием. Возрастание блеска длилось три минуты, амплитуда первого максимума достигла $0^m.7$, второго - $0^m.25$. Продолжительность всплеска была около часа. И хотя профиль всплеска, его длительность и амплитуда напоминают вспышки на красном карлике типа UV Cet, мы не исключаем возможного наличия источника этого явления в аккреционном диске.

Все наблюдения 2008 и 2019гг. показывают существование квазипериодических колебаний с характерным временем 0.020-0.021 сут., близким к ранее найденному [10].

В течение первой половины всплеска были зарегистрированы колебания блеска с характерным временем 0.006 сут. и амплитудой $0^m.1$, которые могут быть либо периодом вращения белого карлика 529.31 с [13], либо периодом 550 с, связанным с предполагаемой переработкой высокоэнергетического излучения в структурах, фиксированных в орбитальной плоскости [14].

Часть исследований (наблюдения 2019г. и анализ всех данных наблюдений, включая полученные в 2008г.) была выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-72-10063). Авторы благодарны рецензенту за ценные комментарии.

¹ ФГБУН, Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Республика Крым, e-mail: juliaradyga@mail.ru

² Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев, Украина

³ Международный центр астрономических, медицинских и экологических исследований НАН Украины, Киев, Украина

PHOTOMETRIC INVESTIGATION OF INTERMEDIATE POLAR DO Dra IN 2008 AND 2019

Ju.V.BABINA¹, E.P.PAVLENKO¹, M.V.ANDREEV^{2,3}

The analysis of photometric observations of the intermediate polar DO Dra obtained in the epoch of a significant decrease in its outburst activity for various average brightness of the system $13^m.6$ - $12^m.8$ (2008) и $14^m.7$ - $14^m.3$ (2019) is presented. Observations were carried out in 2008 in the Johnson *BVR* system and in 2019 in integral light. For the first time, quasi-simultaneous observations in the *BVR* bands recorded the orbital brightness modulation in the form of a two-humped curve in each of the bands, presumably caused by the ellipsoidality of the second component. For six nights in the *BVR* bands (2008) and one night in integral light (2019), steady quasiperiodic oscillations were observed in the vicinity of 0.02 days. On the night of JD 2458575 (2019), an increase in brightness of $0^m.7$ was recorded in 3 min, followed by an exponential decay. The flare lasted about an hour, during the first half oscillations with a period of about 0.006 days and an amplitude of $0^m.1$ were detected, which can be related either to the period of rotation of the white dwarf or to quasiperiodic oscillations. The nature of the flare is not clear, the paper considers the possible causes of this phenomenon.

Keywords: *DO Dra: cataclysmic variables: intermediate polar*

ЛИТЕРАТУРА

1. *B.Warner*, Cataclysmic Variable Stars, Cambridge University Press, 1995.
2. *J.Patterson, D.A.Schwartz, H.Bradt et al.*, Bull. Amer. Astron. Soc., **14**, 618, 1982.
3. *R.F.Green, D.H.Ferguson, J.Liebert et al.*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **94**, 560, 1982.
4. *W.Zessewitsch*, Var. Stars, **4**, 291, 1934.
5. *W.Wenzel*, Inf. Bull. Var. Stars, **2262**, 1983.
6. *P.N.Kholopov et al.*, General Catalogue of Variable Stars, M., Nauka, 1985.
7. *N.N.Samus et al.*, General Catalogue of Variable Stars, M., Nauka, 2009.
8. *J.Patterson, N.Eisenman*, Inf. Bull. Var. Stars, **3079**, 1987.
9. *N.A.Virgina*, OEJV, **133**, 1, 2011.
10. *I.L.Andronov, L.L.Chinarova, W.Han et al.*, Astron. Astrophys., **486**, 855, 2008.
11. *V.Simon*, Astron. Astrophys., **354**, 103, 2000.
12. *M.Mateo, P.Szkody, P.Garnavich*, Astrophys. J., **370**, 370, 1991.

13. *C.A.Haswell, J.Patterson, J.R.Thorstensen et al.*, *Astrophys. J.*, **476**, 847, 1997.
14. *J.Patterson, D.A.Schwartz, J.P.Pye et al.*, *Astrophys. J.*, **392**, 233, 1992.
15. *K.Beuermann, H.C.Thomas*, *Adv. Space Res.*, **13**(12), 115, 1993.
16. *J.Patterson, P.Szkody*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **105**, 1116, 1993.
17. *A.J.Norton, A.P.Beardmore, A.Allan et al.*, *Astron. Astrophys.*, **347**, 203, 1999.
18. *D.Boyd*, *Journal of the British Astronomical Association*, **115**, 25, 2005.
19. *J.Pelt*, *Irregularity Spaced Data Analysis, User Manual - Helsinki*, 1992.
20. *N.M.Shakhovskoy, I.L.Andronov, S.V.Kolesnikov*, *OAP*, **7**, 40, 1994.
21. *C.Hellier*, *Cataclysmic Variable Stars*, Springer, 2001.
22. *J.Warren et al.*, *Astrophys. J. Lett.*, **414**, 69, 1993.
23. *S.Scaringi, T.J.Maccarone, C.D'Angelo et al.*, *Nature*, **552**, 210, 2017.
24. *E.P.Pavlenko*, *OAP*, **9**, 38, 1996.
25. *E.P.Pavlenko et al.*, *CoSka*, **48**, 339, 2018.
26. *A.M.Fridman, D.V.Bisikalo*, *Physics Uspekhi*, **51**, 551, 2008.
27. *A.M.Fridman, A.A.Boyarchuk, D.V.Bisikalo et al.*, *Phys. Lett.*, **317**, 181, 2003.
28. *A.M.Fridman, O.V.Khoruzhii*, *Space Sci. Rev.*, **105**, 1, 2003.
29. *Р.Е.Гершберг*, "Активность солнечного типа звезд главной последовательности", 2015.