

Активность переменных типа I_s и ее закономерности.
V. Мультицикличность фотометрического поведения EH Цефея

В.И. Кардополов, Г.К. Филиппьев

Проанализированы фотоэлектрические BVR наблюдения переменной типа I_{nsb} EH Cep. Обнаружены два вида независимых циклических колебаний блеска звезды. Показатели цвета EH Cep при изменениях ее яркости почти на 1^m меняются незначительно. Имеющаяся наблюдательная информация свидетельствует, что EH Cep вероятнее всего принадлежит классу объектов типа RV Tau.

Some Regularities in the I_s Variable Stars Activity.

V. Multicyclic Light Behaviour of EH Cephei

by V.I. Kardopolov, G.K. Filipjev

Photoelectric BVR observations of I_{nsb} variable star EH Cep are discussed. There are two independent cycles in the light curve of EH Cep. It may be noted that the star colours changed very slightly when the star light changed up to 1^m. All available observational information is consistent with supposition that EH Cep is probably an RV Tau type variable star.

ВВЕДЕНИЕ

В темном облаке, на которое проектируется EH Cep, обнаружено большое число переменных звезд, в том числе вспыхивающие и типа T Tau (Розино, Романо, 1962). Рядом, в одном из концов резко очерченного поглощающего канала, расположена диффузная туманность NGC 7023, возбуждаемая звездой спектрального класса B HD 200775. Распределение энергии в спектре NGC 7023 характерно для отражательных туманностей (Курчак, 1968). В спектре EH Cep = LkHa 276 обнаружены эмиссионные линии H и K CaII (Хербиг, 1962; Хербиг, Рао, 1972). Кукаркин (1958) отнес переменную к типу RW Aur, отметив, что блеск звезды в большинстве случаев меняется медленно. В современной системе классификации (Холопов, 1981, 1983) EH Cep, меняющая спектральный класс в интервале G2e – K2e, отнесена к числу I_{nsb}-переменных (Холопов и др., 1985).

РЕЗУЛЬТАТЫ BVR ИЗМЕРЕНИЙ

Ряды фотоэлектрических наблюдений EH Cep в 1978–81 годах опубликованы ранее (Кардополов, Филиппьев, 1981, 1983, 1985a). Поведение блеска переменной в фильтре V в эти сезоны можно видеть на рис. 1a. Приведенные отрезки кривой блеска казались бы свидетель-

ствуют о том, что степень активности звезды различна в разные годы. Действительно, в 1978 и в 1980 г. по сравнению с 1979 и с 1981 г. ЕН Сер наблюдалась в относительно спокойном состоянии. И уже этот факт наводит на мысль об элементах повторяемости. Если на результаты измерений сезона 1981 г. перенести данные 1979 г. (крестики на рис. 1а), участки кривых хорошо совпадут, что указывает на веро-

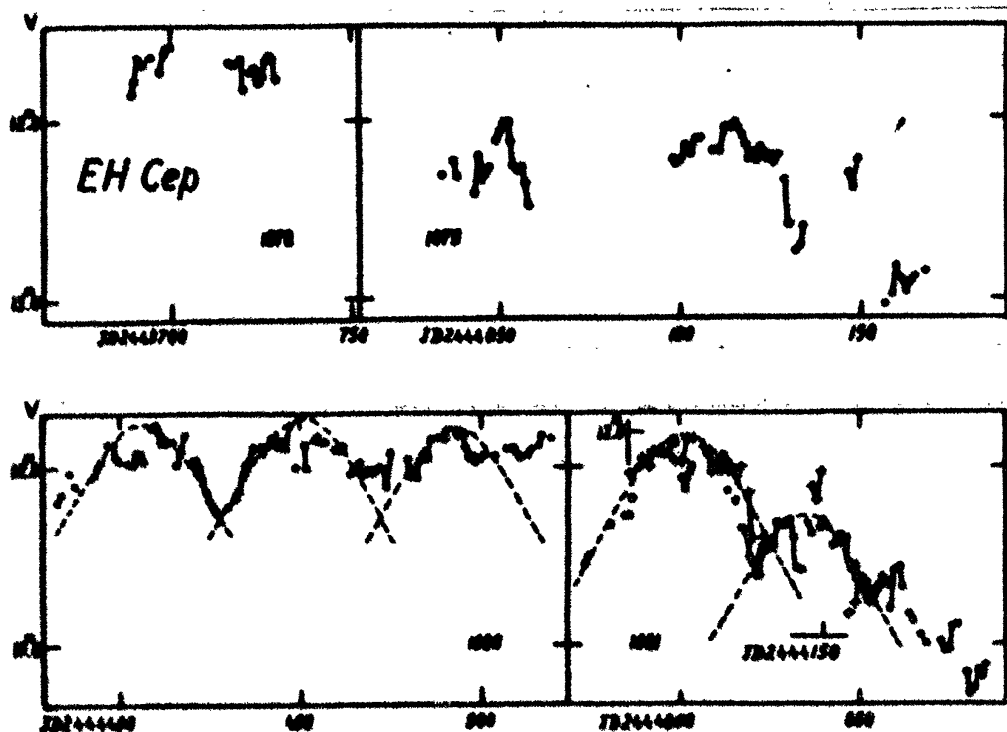


Рис. 1а. Отрезки кривой изменений блеска ЕН Сер по наблюдениям авторов. Крестиками на данные сезона 1981 г. перенесены измерения 1979 г. Пунктир — графически подобранная симметричная кривая.

ятность цикла. Более подробно остановимся на нем дальше. Пока же рассмотрим пунктирные линии на рис. 1а. К совокупности измерений 1979 и 1981 г. графически подобрана симметричная кривая. Подбор произведен так, чтобы обеспечить оптимальное совпадение с точками двух проявившихся последовательных максимумов. Оказалось, что найденной этим способом кривой можно в принципе описать часть измерений, полученных в 1980 г. Следовательно, на протяжении трех сезонов (1979–81 г.) прослеживаются одни и те же квазипульсации. Время развития последних $40^d - 50^d$, амплитуда в $V - 0^m.5 - 0^m.7$. Однако, частота их следования на рис. 1а различна. Если в 1980 г. максимумы чередовались через $40^d - 50^d$, то в 1981 г. второй "горб" прописался после первого не более, чем через 35^d . В действительности же частота квазипульсаций достаточно стабильна. Максимумы сблизятся, если

второй из них попадет на некую нисходящую ветвь, что иллюстрирует рис. 16. На нем в трансформированном виде представлен отрезок кривой блеска ЕН Сер, отнаблюденный в 1980 г. Сплошными линиями показаны положения максимумов, намотившихся на рис. 1а. Прямая, проведенная длинным пунктиром — искусственно введенное равномерное понижение блеска (скорость 1^m за 100^d). Участок отнаблюденной кривой, подвергшийся трансформации, представлен светлыми кружками, оставшийся без изменений — точками. Пунктирные кривые также перенесены с рис. 1а — их относительное положение то же, что в 1981 г.

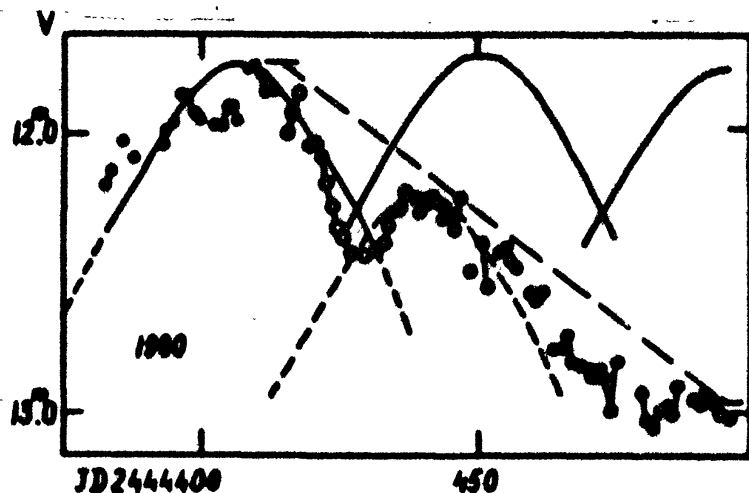


Рис. 16. Трансформированный участок кривой блеска 1980 г. Длинный пунктир — искусственно введенное понижение яркости (скорость 1^m за 100^d). См. также текст.

Сходство картин, полученных в сезон 1981 г., и рис. 16, свидетельствует о том, что смена стадий активности ЕН Сер скорее всего кажущаяся. Реально же, по всей вероятности, имеет место суперпозиция разных сортов колебаний. Видимость повышения активности звезды в 1979 и в 1981 г. будет создана частичным наложением квазипульсаций с характерным временем 40^d – 50^d и амплитудой 0^m6 – 0^m7 на нисходящие ветви циклических изменений, о которых упомянуто ранее. Продолжительность этого цикла либо около $2/3$ года (наибольшая длительность непрерывного отслеживания звезды в нашем случае не превышает 4,8 месяцев), либо порядка двух лет. Амплитуда его не менее 1^m (рис. 16). Отметим, что значения блеска в J. 2444147–149 после наложения на отрезок 1981 г. представляются некоторым выбросом. По-видимому, максимум, которому принадлежат данные точки, попал на более пологую часть нисходящей ветви.

Обращает на себя внимание также следующий факт. В максимуме блеска в сезон 1978 г. ЕН Сер была на 0^m2 ярче, чем в аналогичной ситуации 1980 г. И наоборот, общий уровень изменений яркости звезды в 1979 г. на 0^m2 ниже, чем в 1981 г. Характерное время смещения уровня не совпадает с продолжительностью первых двух циклов.

Наконец, можно говорить и о мелкомасштабных флуктуациях с амплитудой в несколько десятых долей звездной величины. Вероятно, они представляют собой кратковременные ослабления до $0^m.3$ в сутки в фотометрической системе V. В чередовании флуктуаций также обнаруживается некоторая закономерность — минимумы следуют через промежутки, кратные 3^d-4^d .

Полученную картину изменений блеска ЕН Сер нельзя считать полной. Кроме того, не все детали имеющихся отрезков кривой блеска укладываются в рассмотренную схему. Например, не удалось согласовать с 40^d-50^d циклом промежутков с JD 2444035 по JD 2444058. Впрочем, причиной этого, вероятно, является перерыв в патрулировании звезды в 1979 г. В целом фотометрические данные свидетельствуют о том, что ЕН Сер скорее всего должна быть исключена из числа переменных типа Ia. Подчеркнем, что проявившиеся циклические колебания разной продолжительности по-видимому независимы.

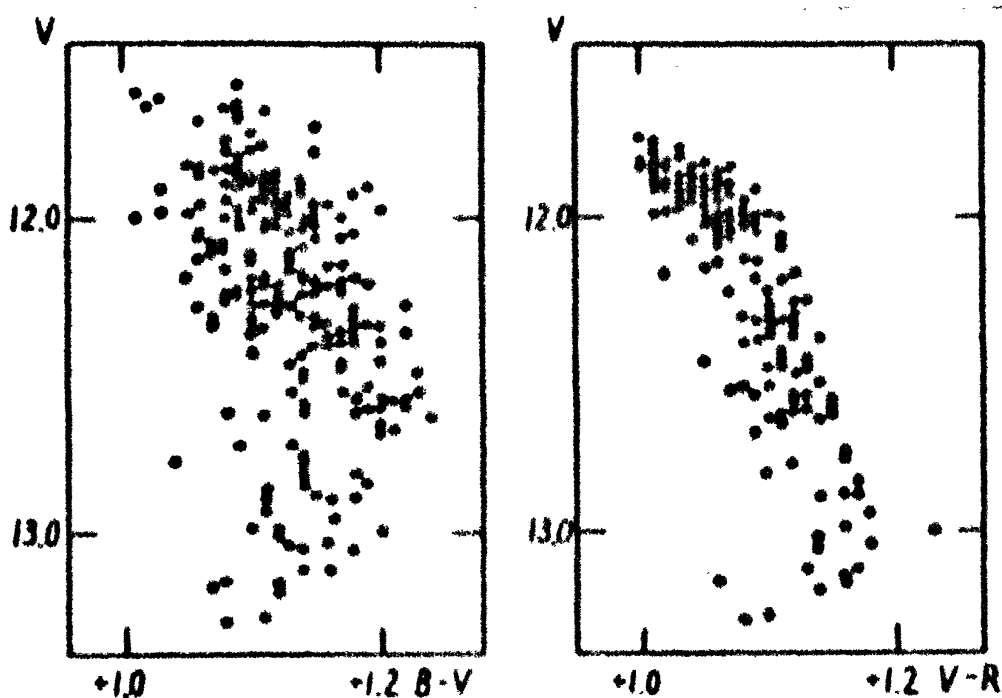


Рис. 2а. Ход показателей цвета ЕН Сер.

Цветовые диаграммы ЕН Сер приведены на рис. 2а. Зависимости $B-V$ и $V-R$ от V нелинейны. Нелинейность, несмотря на большой разброс точек, заметнее в случае показателя $B-V$. Понижение блеска звезды до уровня $\sim 12^m.5$ в среднем сопровождается ее покраснением. При дальнейшем падении яркости переменная вновь становится более голубой. Дисперсия значений показателей цвета обусловлена в основном мелкомасштабными флуктуациями, что следует из рис. 2б. На нем отдельно представлены результаты измерений 1978 г. (светлые кружки) и 1980 г. (точки) — периодов, когда отсутствовало или было минимальным воздействие нисходящей (появляющейся) ветви наиболее про-

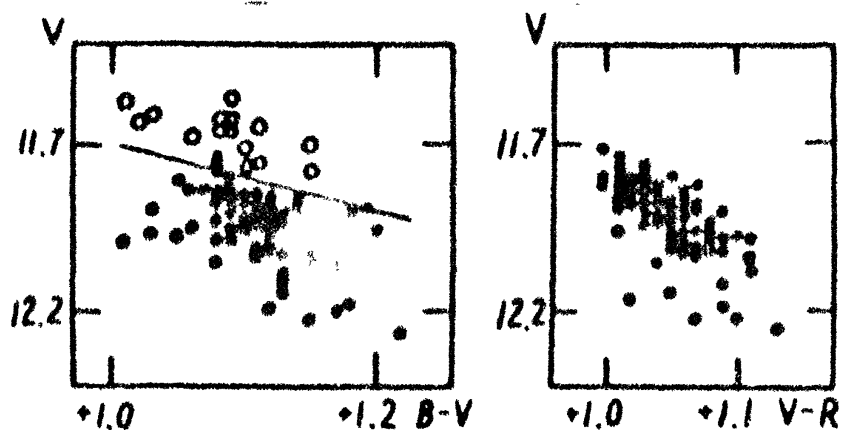


Рис. 26. Зависимости $V-(B-V)$ и $V-(V-R)$ по сезонам: светлые кружки — 1978 г., точки — 1980 г. Сплошная линия — направление последовательности субгигантов около спектрального класса G5.

долгительного цикла. Кратковременные ослабления блеска ЕН Сер на 0^m2-0^m3 приводит к увеличению показателей цвета до 0^m15-0^m20 . Напротив, квазипульсации со временем развития 40^d-50^d не сопровождаются заметными изменениями $B-V$ и $V-R$. За нелинейность на диаграммах $V-(B-V)$ и $V-(V-R)$, следовательно, ответственен самый продолжительный и высокоамплитудный цикл.

О ВОЗМОЖНОЙ ПРИРОДЕ ЕН Сер.

Ряд свойств, которыми обладает ЕН Сер, характерен для переменных типа RV Тау. Рассмотрим аргументы "за" и "против" принадлежности ее к этому классу объектов.

Двойная цикличность. Для звезд типа RV Тау с двойной периодичностью (циклическостью) предпринимались попытки найти величину P/P — отношение продолжительностей медленного и быстрого колебаний. В среднем оно близко к 15 (Цесевич, 1970). Как установлено, один из циклов ЕН Сер равен 40^d-50^d . Чтобы отношение P/P было того же порядка, длительность второго цикла ЕН Сер должна быть около двух лет, что не противоречит данным наблюдений. У типичных звезд RVb короткий период охватывает два максимума и два минимума. На рис. 1а внутри 40^d-50^d интервала в ряде случаев намечается небольшое понижение блеска. Вероятно, вторичный-минимум проявляется недостаточно четко из-за сравнительно малой амплитуды колебаний, большой разности в глубинах главного и вторичного минимумов и накладывающихся мелкомасштабных флуктуаций. Если цикл продолжительностью в 40^d-50^d — действительно двойная пульсация, проведение симметричной кривой на рис. 1а, б неправомерно. Ход медленной составляющей лучше согласуется с представлением о ЕН Сер, как о звезде типа RV Тау. По значениям P и P ЕН Сер, по-видимому, аналогична DF Cyg. Поведение блеска DF Cyg достаточно подробно изучено Бейером (1949). Медленные колебания ее происходят таким образом, что переменная не менее 300^d может находиться около максимума (Бейер, 1949). В слу

чае ЕН Сер "стояние" в максимуме на протяжении 4.5 месяцев наблюдалось в 1980 г. У DF Cyg около середины периода наибольшей яркости отмечено уменьшение амплитуды быстрых изменений (Бейер, 1949). Отметим, что подобную же тенденцию можно заподозрить у ЕН Сер (рис. 1а).

Показатели цвета. Надежным критерием при отнесении переменной к типу RV Тау являются закономерности в поведении цветовых параметров "высокочастотных" изменений. Ход показателей цвета повторяет кривую блеска, но опережает ее по фазе (Цесевич, 1970). Выше говорилось, что цикл ЕН Сер продолжительностью в 40^d-50^d не сопровождается заметными изменениями $B-V$ и $V-R$. Казалось бы у переменной явно отсутствует один из существенных признаков принадлежности ее к классу RV. Обратимся, однако, к результатам фотоэлектрических измерений типичной RVb звезды RS Sge (Кардополов, Филиппов, 19856). На протяжении ее более короткого периода зарегистрированы следующие изменения: блеска в V — в пределах 0^m9 , показателя цвета $B-V$ — на 0^m6 , показателя $V-R$ — на 0^m2 . При наличии вторичного минимума в малом цикле ЕН Сер ближе к действительности будет, по-видимому, амплитуда 0^m6 в V (рис. 1а, 2б). Если механизм пульсаций ЕН Сер и RS Sge один и тот же, логично ожидать, что значения отношений амплитуд A_V/A_{B-V} и A_V/A_{V-R} у этих звезд примерно одинаковы. В данных предположениях изменения $B-V$ и $V-R$ в процессе 40^d-50^d колебаний ЕН Сер не должны превосходить 0^m25 и 0^m10 соответственно. Вспомним, что показатели цвета ЕН Сер подвержены вариациям того же порядка (0^m15-0^m20) за счет мелкомасштабных флуктуаций ее блеска. Не исключено поэтому, что характерный для звезды типа RV Тау ход $B-V$ и $V-R$ в случае ЕН Сер вуалируется этими флуктуациями. Вопрос о поведении показателей цвета медленной составляющей RVb звезд исследован слабо. В нескольких случаях колебаниям блеска до 1^m5 соответствуют изменения $m_{B-V}-m_{V-R}$ примерно на 0^m2 (Цесевич, 1970). Похожий результат получен для ЕН Сер (рис. 2а).

Изменение уровней блеска. Звезды типа RV Тау относятся к числу полуправильных переменных. У их быстрой составляющей наблюдаются нарушения формы, продолжительности, ритмичности пульсаций. Есть основания полагать, что варьируется от цикла к циклу и медленный компонент (Цесевич, 1970).

Мелкомасштабные флуктуации. Фотоэлектрические наблюдения RS Sge с той же скважностью (точка в сутки), что и ЕН Сер, свидетельствуют, что этот тип колебаний, по-видимому, характерен для звезд типа RV Тау (Кардополов, Филиппов, 19856). Сплошной линией на рис. 2б показано направление последовательности субгигантов в окрестностях спектрального класса G5 (Аллен, 1977). Ход $B-V$ за счет мелкомасштабных флуктуаций ЕН Сер на рис. 2б неплохо согласуется с тенденцией температурных изменений. Поскольку в чередовании флуктуаций звезды намечается некоторая закономерность, можно подозревать наличие пятнистости, модулированной вращением. С другой сторо-

ны, у объектов типа *RV Tau* есть основания предполагать истечение вещества, которое, однако, должно носить дискретный характер (Алиев, 1966).

Спектральные данные. Физические процессы, приводящие к пульсациям *RV* звезды, способствуют появлению сложной, переменной эмиссии (Цесевич, 1970). Имеющаяся информация о спектре ЕН Сер (спектральный класс *G2e-K2e*) позволяет предварительно включить ее в наиболее многочисленную подгруппу переменных типа *RV Tau* — подгруппу *A* (Цесевич, 1970).

Морфология окрестностей. Есть мнение, что переменность типа *RV Tau* возникает на стадии перехода звезды в область гигантов (Цесевич, 1970). Подсистема этих объектов вероятно входит в промежуточную составляющую (Перепелкина, 1950). Поэтому проекция ЕН Сер в окрестности возможного района звездообразования в настоящее время, по-видимому, представляется наиболее серьезным аргументом против принадлежности ее к числу *RVb*-переменных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученный материал лишь частично согласуется с предложенным вариантом классификации ЕН Сер. Чтобы лучше согласовать экспериментальные данные с представлением о ЕН Сер, как о переменной типа *RVb*, пришлось принять ряд дополнительных условий. Отметим, что некоторые трудности возникли из-за слабой изученности самого класса объектов типа *RV Tau*. Для полной уверенности в правильности сделанного выбора имеющихся наблюдений недостаточно. Но, несмотря на неопределенность, рассмотренный вариант кажется наиболее вероятным.

Мультицикличность ЕН Сер в принципе можно было бы описать моделью тесной двойной системы, состоящей из желтых полуправильных гигантов или долгопериодических цефеид. Однако, в первом случае также возникнут несоответствия при объяснении закономерностей цветовых параметров, не снимется вопрос морфологии. С другой стороны, долгопериодические цефеиды тесно связаны с наиболее молодыми звездными комплексами (Ефремов, 1964, 1970). Кроме того, при периодах $> 60^d$ их кривые блеска должны иметь плоские вершины (Карсон, Стозерс, 1984), что согласуется с продолжительным пребыванием ЕН Сер вблизи максимума в 1980 г. Но в тот же сезон 1980 г. наметились серьезные нарушения 40^d-50^d пульсаций (рис. 1а). Далее, показатели цвета цефеид в отличие от ЕН Сер значительно растут при падении яркости (Ефремов, 1970). Как в первой, так и во второй моделях может усугубиться несоответствие расстояний до облака поглощающей материи и до тесной двойной системы, состоящей из компонентов высокой светимости.

В работе IV (Кардополов и др., 1986) проанализированы фотометрические данные для ряда переменных типа *T Tau*. В характере изменений яркости ЕН Сер не найдено общих закономерностей со звездами, которые находятся на пути к главной последовательности. Но полностью согласуется с представлением о ЕН Сер, как о звезде на

более поздней стадии эволюции. Окончательной классификации ЕН Сер должны способствовать подробные спектральные исследования. Если, тем не менее, выдвинутое предположение о природе ЕН Сер верно, в качестве ее аналога следует по-видимому, рассматривать DF Cug, близкую к ней по продолжительности циклов (Цесевич, 1970).

Литература

- Алиев А.А., 1966, АЖ **43**, 990.
 Аллен К.У., 1977, кн.: "Астрофизические величины", М., "Мир".
 Бейер, 1949 — Bayer M., Erg. AN **11**, Nr 4, 19.
 Ефремов Ю.Н., 1964, ПЗ **15**, 242.
 Ефремов Ю.Н., 1970, в кн.: "Пульсирующие звезды", 64, М., "Наука".
 Кардополов В.И., Филиппьев Г.К., 1981, Цирк. АН АН УзССР №96, 34.
 Кардополов В.И., Филиппьев Г.К., 1983, Цирк. АН АН УзССР №105, 26.
 Кардополов В.И., Филиппьев Г.К., 1985а, ПЗ **22**, 103.
 Кардополов В.И., Филиппьев Г.К., 1985б, ПЗ **22**, 158.
 Кардополов В.И., Филиппьев Г.К., Шаймиева А.Ф., Шутемова Н.А., 1986, ПЗ (в печати).
 Карсон, Стозерс, 1984 — Carson T.R., Stothers R.B., ApJ **281**, 811.
 Кукаркин Б.В., 1958, АЦ №191, 15.
 Курчаков А.В., 1968, Тр. АФИ АН Каз.ССР **11**, 56.
 Перепелкина Е.Д., 1950, ПЗ **7**, 230.
 Розино, Романо, 1962 — Rosino L., Romano G., Asiago Contr. No 127.
 Хербиг, 1962 — Herbig G.H., Advances in Astron. and Astrophys. **1**, 47.
 Хербиг, Рао, 1972 — Herbig G.H., Rao N.K., ApJ **174**, 401.
 Холопов, П.Н., 1981, ПЗ **21**, 465.
 Холопов П.Н., 1983, в кн.: "Астрономия", **22**, 112, "Итоги Науки и Техники" ВИНТИ, М.
 Холопов П.Н., Самусь Н.Н., Горанский В.П., Горыня Н.А., Киреева Н.Н., Кукаркина Н.П., Курочкин Н.Е., Медведева Г.И., Перова Н.Б., Фролов М.С., Шугаров С.Ю., 1985 ОКПЗ, 1.
 Цесевич В.П., 1970, в кн.: "Пульсирующие звезды", 140, М., "Наука".

АФИ АН Каз.ССР,
 ИКИ АН СССР

Поступила в редакцию
 10 сентября 1985 г.