

УДК 524.33

Крымская программа наблюдений звезд с непериодическими минимумами. Звезды с малой активностью. I. ВН Сер

A.N. Ростопчина-Шаховская[✉], D.N. Шаховской[✉]

ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, 298409, Крым
arost@crao.ru

Поступила в редакцию 30 сентября 2025 г.

Аннотация. Представлены результаты фотополяриметрических *UBVRI* наблюдений ВН Сер – малоактивной звезды типа UX Ori, – выполненных в КрАО в 1998–2018 гг. Характеристики фотометрической переменности типичны для молодых звезд этого типа, необычными являются редкие поярчания на $0.^m3$ в полосах *U* и *B*. Небольшая глубина наблюдавшихся минимумов затрудняет сравнение поляризационных характеристик с более активными звездами, однако наблюдаемая переменность, прежде всего очень большая и хаотическая переменность позиционного угла плоскости линейной поляризации, указывает на более сложную картину, чем предсказывает простая модель, предполагающая постоянство параметров рассеянного поляризованного излучения, переменность неполяризованного излучения и учитывающая межзвездную поляризацию.

Ключевые слова: звезды типа UX Ori, молодые звезды, фотометрия, поляриметрия

1 Введение

Программа исследования звезд с непериодическими алголеподобными минимумами началась в Крымской астрофизической обсерватории в 1986 году. Целью программы было подтверждение гипотезы, предложенной Грининым (1988), согласно которой источником непериодических минимумов этих звезд являются околозвездные газопылевые диски, видимые нами с ребра или под небольшим углом зрения. Пылевые неоднородности в дисках, закрывая звезду от наблюдателя, вызывают непериодические ослабления блеска и характерный поворот цветовых треков, когда увеличение показателей цвета, начиная с некоторой величины ослабления блеска, сменяется их уменьшением за счет увеличивающейся в наблюдаемом излучении доли рассеянного диском света (Бердюгин и др., 1990; Rostopchina et al., 1997). В настоящее время данная гипотеза является общепринятой, и звезды с таким типом переменности выделяют в отдельный подкласс – звезды типа UX Ori.

Большинство звезд с непериодическими алголеподобными минимумами относится к звездам Ae/Be Хербига – молодым объектам ранних спектральных классов, находящимся на стадии до главной последовательности. Некоторые объекты относятся к звездам типа Т Тельца – также молодым объектам на стадии до главной последовательности, но более поздних спектральных классов F и G, реже K. По типу фотометрической активности эти звезды можно разделить на два подкласса: фотометрически активные и спокойные. Основное различие между ними заключается, вероятно, в угле зрения, под которым мы видим эти объекты. Основу наблюдательной программы крымского мониторинга составляли звезды с большой амплитудой переменности и часто наблюдавшимися минимумами блеска, но в программу были включены также объекты с относительно небольшой – не более $1.^m5$ – амплитудой изменений блеска или с минимумами значительной глубины, но редко повторяющимися. Данная работа посвящена результатам наблюдений одной из таких звезд – ВН Сер.

2 Основные сведения об объекте

Переменная расположена в хорошо известной области звездообразования в Цефеид на расстоянии порядка 400 пс. К числу быстрых неправильных переменных была отнесена Холоповым (1959). Спек-

тральный класс ВН Сер оценивается как A/F5Ve α ([Herbig, Bell, 1988](#)), F5IIIe ([Mora et al., 2001](#)). В спектре звезды наблюдается двухкомпонентная переменная эмиссия в линии H α ([Зайцева, Колотилов, 1972; Chen et al., 1999](#)). По данным каталога слабых источников IRAS ([Moshir et al., 1990](#)), переменная имеет небольшой избыток излучения в ИК-области.

Фотометрические наблюдения ВН Сер охватывают значительный период времени, но в основном отрывочны ([Bradl, 1978; Wenzel, 1978; Железнякова, Кардополов, 1980; Pugach, 1988](#)). Амплитуда переменности в полосе V , согласно каталогу [Herbig, Bell \(1988\)](#), составляет порядка 2^m : от 10.8 до 12.7. [Guertler et al. \(1999\)](#) по Гарвардской и Зонненбергской коллекциям фотопластинок восстановили историческую кривую блеска ВН Сер почти за 100 лет, с 1898 по 1997 г., которая показывает, что в основном блеск звезды в полосе B менялся в диапазоне от 11.5 до 12 звездной величины, с ослаблениями блеска до 13^m и отдельными пограничными до 11^m . Причем в 1950–1960 гг. минимумы блеска наблюдались чаще и были более глубокими, чем в 1980–1990 гг., тогда как пограничия, напротив, реже наблюдались в середине XX в. и чаще в 1980–1990 гг. Какой-либо периодичности в изменении блеска ВН Сер [Guertler et al. \(1999\)](#) не обнаружили. [Oudmaijer et al. \(2001\)](#) исследовали линейную поляризацию ВН Сер на ограниченном интервале времени. В период их наблюдений блеск звезды ослабел на 1^m , линейная поляризация возросла с 0.4 до 2 %, позиционный угол повернулся почти на 40° .

3 Наблюдения ВН Сер

Фотометрические и поляризационные наблюдения ВН Сер выполнялись в 1998–2018 гг. на пятиканальном фотометре-поляриметре конструкции [Piironen \(1975\)](#), установленном на телескопе АЗТ-11 (диаметр зеркала 125 см) Крымской астрофизической обсерватории. Данный прибор позволяет получать одновременные измерения поляризации и блеска сразу в пяти полосах системы, близкой к системе Джонсона. Для перевода в систему Джонсона применялись редукционные коэффициенты.

Поскольку ВН Сер не показывает быстрой переменности на временном масштабе порядка часа, результаты наблюдений, полученные в течение одного сеанса (каждой ночи), усреднялись. За одну ночь выполнялось от 4 до 42 измерений параметров Стокса. Влияние инструментальной поляризации на результаты наблюдений учитывалось путем регулярных наблюдений стандартных звезд. Всего с 1998 по 2018 г. измерения блеска ВН Сер были выполнены в 281 ночи, в том числе 192 ночи сопровождались синхронной пятиканальной поляриметрией.

Таблица 1. Величины звезды сравнения ВН Сер

Фильтр	U	B	V	R	I
mag	11.723	11.457	11.065	10.689	10.560

При наблюдениях использовалась, как правило, диафрагма размером $10''$, в условиях плохих изображений – $15''$. Средняя ошибка наблюдений составляет $0.^m01$ в полосах $BVRI$ и $0.^m02$ в полосе U ; когда блеск звезды падал ниже $11.^m8$ в полосе V , ошибки возрастили до $0.^m03$ и $0.^m10$ в полосах $BVRI$ и U соответственно. Основной звездой сравнения являлась звезда “к” ([Пугач, Ковальчук, 1983](#)). В таблице 1 приведены величины звезды сравнения “к” в полосах $UBVRI$. Результаты фотометрических и поляризационных наблюдений ВН Сер приведены в таблице 2¹.

4 Анализ наблюдений

Гистограмма активности (рис. 1), построенная по данным наших наблюдений, показывает, что, как и большинство звезд Ae/Be Хербига, ВН Сер большую часть времени находится в ярком состоянии, максимальная амплитуда переменности наблюдается в фильтре U , в фильтрах B , V , R , I наблюдается постепенное уменьшение амплитуды переменности. В полосах U и B зафиксированы пограничия блеска, которые отсутствуют либо амплитуды их чрезвычайна мала в остальных полосах. Наибо-

¹ Таблица 2 представлена только в [электронном виде](#).

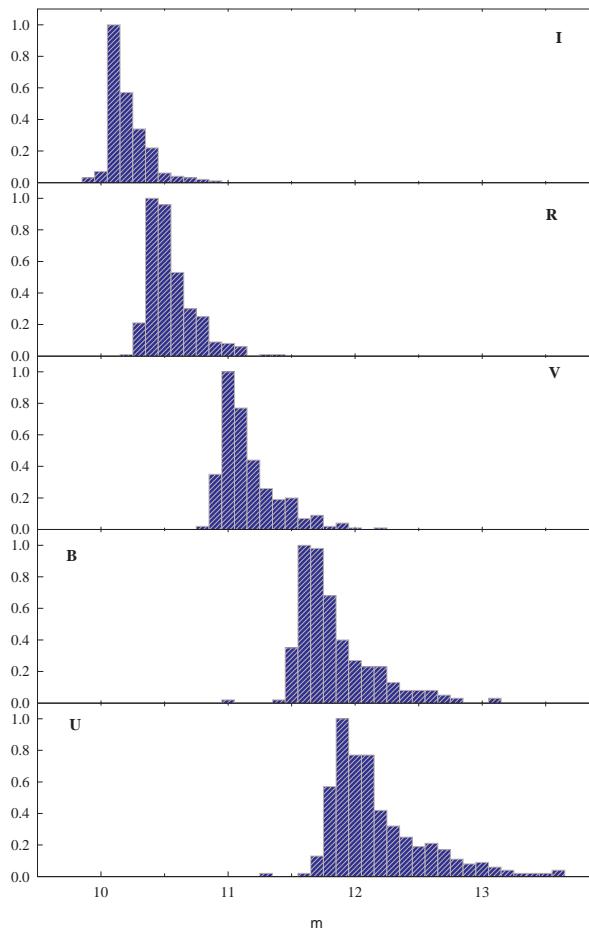


Рис. 1. Нормализованная гистограмма фотометрической активности ВН Сер в полосах *UBVRI* по данным наблюдений в КрАО

лее типичную для звезд этого типа форму гистограммы активности демонстрируют в полосах *U*, *B*, *V* – значительную часть времени звезда проводит в ярком состоянии, временами наблюдаются ослабления блеска. Вместе с тем пик, соответствующий преимущественному блеску переменной, выражен сильнее, особенно в красной области, чем у многих других звезд этого типа (см., например, Ростопчина и др., 2000; Шаховской и др., 2003).

На рис. 2 представлены кривые блеска, степени и позиционного угла линейной поляризации по нашим наблюдениям в полосе *V*. Блеск звезды в полосе *V* меняется меньше чем на 2^m . В первые годы наблюдений амплитуда переменности блеска была больше, причем средний уровень блеска также был ниже, чем в последующие годы. В 1999–2000 гг. блеск звезды не достигал характерного для переменной “яркого” состояния на уровне $11.^m0$.

В среднем степень линейной поляризации выше, когда звезда слабее, но в ряде случаев видно, что высокая степень поляризации соответствует яркому состоянию переменной. Позиционный угол плоскости поляризации ВН Сер в полосе *V* меняется в пределах 180 градусов. Изменения достаточно хаотичны.

В остальных полосах наблюдается аналогичная картина. Наименее хаотично ведут себя позиционные углы линейной поляризации в полосе *I* (рис. 3), хотя и здесь амплитуда переменности позиционного угла достигает 160 градусов. Благодаря более высокой точности изменений, наблюдаемая переменность степени и позиционного угла линейной поляризации позволяет проследить определенные закономерности.

На рис. 4 представлены диаграммы цвет – величина, построенные по данным наших наблюдений. Видно, что во всех четырех показателях цвета наблюдается значительный разброс значений, наиболее выраженный в *B – V*. Зависимость всех четырех показателей цвета от блеска нелинейна:

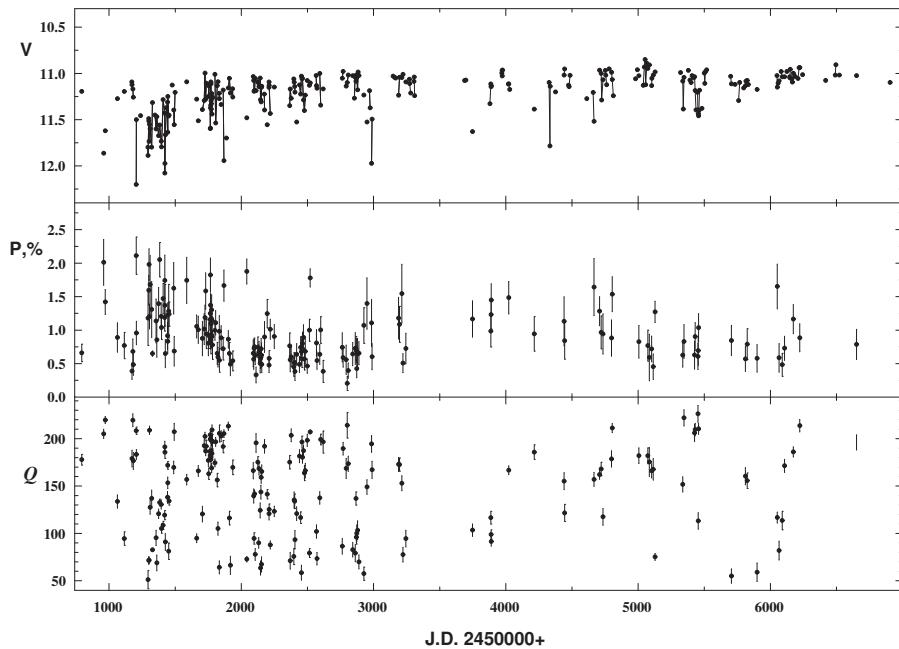


Рис. 2. Изменение яркости, степени линейной поляризации и ее позиционного угла ВН Сер в полосе V со временем. На кривой блеска значения, полученные в соседние ночи, соединены линиями

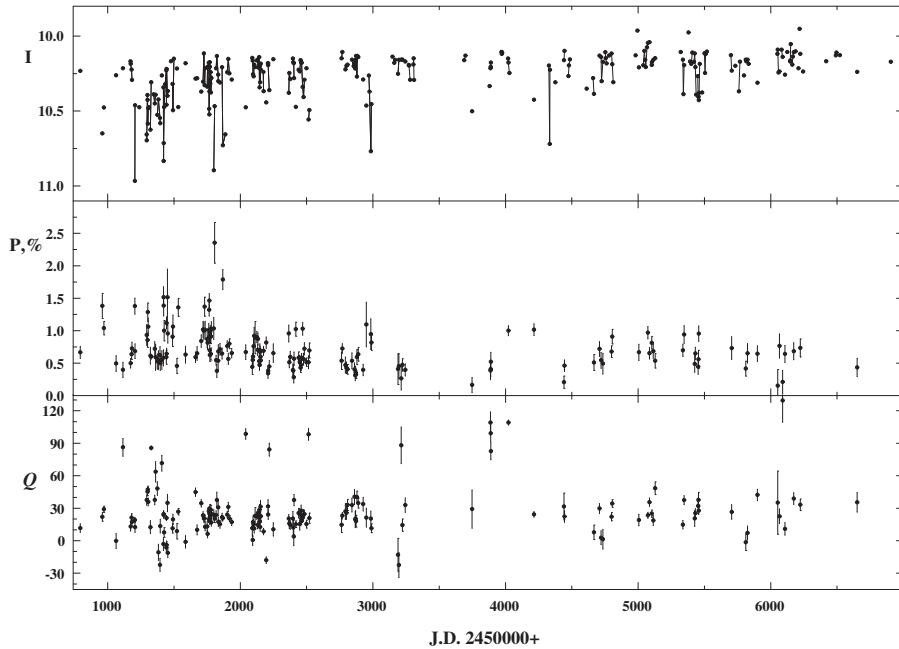


Рис. 3. Изменение яркости, степени линейной поляризации и ее позиционного угла ВН Сер в полосе I со временем. На кривой блеска значения, полученные в соседние ночи, соединены линиями

сначала, по мере ослабления блеска, звезда краснеет, а затем, начиная с определенного уровня блеска (разного для каждого показателя цвета), наблюдательные точки на диаграммах цвет – величина отклоняются влево, то есть при продолжающемся ослаблении блеска цвет звезды становится более голубым. Наиболее ярко этот эффект виден в показателях цвета $U - B$ и $V - I$. Причем в $U - B$ изменение наклона цветового трека проявляется уже при ослаблении блеска на $0^m3 - 0^m4$, тогда как в $V - I$ он проявляется только при ослаблении звезды на 2^m .

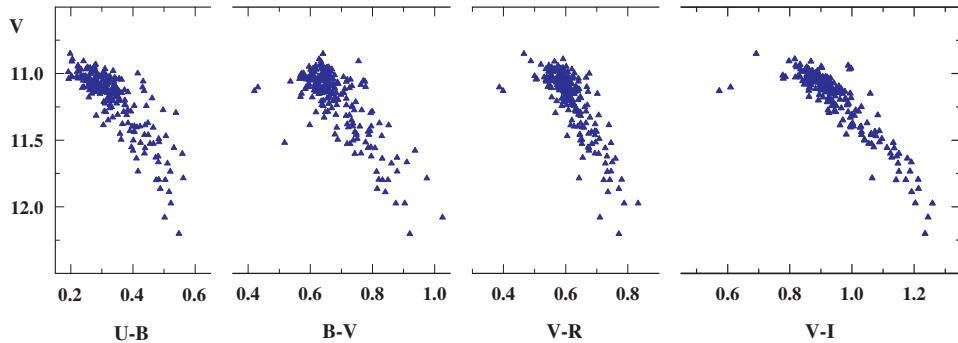


Рис. 4. Диаграммы показатель цвета – величина ВН Сер по данным наших наблюдений

Подобная последовательность цветовых изменений при ослаблении блеска наблюдается также у других звезд типа UX Ori (см., например, Шаховской и др., 2003) и объясняется растущим влиянием рассеянного излучения (так называемый эффект поголубения). В полосе $B - V$ данный эффект выражен крайне слабо. В полосе $V - R$ эффект поголубения показателя цвета хотя и выражен слабее, чем в $U - B$ и $V - I$, но все-таки остается заметным.

Обращает на себя внимание и значительная “размытость” цветовых треков, особенно заметная в показателях цвета $U - B$, $B - V$ и $V - R$. Кроме того, во всех показателях цвета вблизи яркого состояния присутствуют точки, значительно отклоняющиеся от основного массива; например, данные наблюдений, полученные в JD 2452514 и 2452520 (27.08.2002 и 02.09.2002), имеют показатель цвета почти на $0.^m2$ меньше, чем остальные наблюдения. Интересно, что в эти даты показатель цвета $U - B$ превышает характерные для данного уровня блеска в полосе V значения, тогда как остальные показатели цвета значительно меньше характерных значений. Проверка данных наблюдений в эти и другие ночи, в которые были зафиксированы отклонения от основного массива данных, не выявила причин, позволяющих усомниться в их достоверности.

5 Заключение

Полученные нами наблюдения ВН Сер показывают, что, хотя звезда в целом и ведет себя как характерный представитель звезд типа UX Ori (значительную часть времени проводит в характерном для нее ярком состоянии, в минимумах блеска наблюдается эффект поголубения), тем не менее ее поляризационная активность более сложна, чем у большинства звезд этого типа. В данной работе подведены итоги наблюдений переменной. Более подробному анализу результатов наблюдений, с привлечением данных других авторов, будет посвящена отдельная статья.

Литература

- Бердюгин А.В., Бердюгина С.В., Гринин В.П., Миникулов Н.Х., 1990. Астрон. журн. Т. 67. С. 812. [Berdyugin A.V., Berdyugina S.V., Grinin V.P., Minikulov N.H., 1990. Astron. Zh., vol. 67, p. 812. (In Russ.)]
- Гринин В.П., 1988. Письма в Астрон. журн. Т. 14. № 1. С. 65. [Grinin V.P., 1988. Pis'ma Astron. Zh., vol. 14, no. 1, pp. 65. (In Russ.)]
- Железнякова В.И., Кардополов В.И., 1980. Переменные звезды. Т. 21. С. 301. [Zkeleznjakova V.I., Kardopolov V.I., 1980. Perem. zvezdy, vol. 21, p. 301. (In Russ.)]
- Зайцева Г.В., Колотилов Е.А., 1972. Астрофизика. Т. 9. С. 185. [Zaytseva G.V., Kolotilov E.A., 1972. Astrofizika, vol. 9, p. 185. (In Russ.)]
- Пугач А.Ф., Ковалчук Г.У., 1983. Переменные звезды. Т. 22. С. 9. [Pugach A.F., Kovalchuk G.U., 1983. Perem. zvezdy, vol. 22, p. 9. (In Russ.)]
- Ростопчина А.Н., Гринин В.П., Шаховской Д.Н., Тэ П.С., Миникулов Н.Х., 2000. Астрон. журн. Т. 77. № 6. С. 420. [Rostopchina A.N., Grinin V.P., Shakhovskoy D.N., Thé P.S., Minikulov N.H., 2000. Astron. Zh., vol. 77, no. 6, p. 420. (In Russ.)]

- Холопов П.Н., 1959. Астрон. журн. Т. 36. С. 295. [Kholopov P.N., 1959. Astron. Zh., vol. 36, p. 295. (In Russ.)]
- Шаховской Д.Н., Гринин В.П., Ростопчина А.Н., 2003. Астрон. журн. Т. 80. С. 631. [Shakhovskoy D.N., Grinin V.P., Rostopchina A.N., 2003. Astron. Zhurn., vol. 80, p. 631. (In Russ.)]
- Bradl I., 1978. Mitt. Verand. Sterne, vol. 8, pp. 46–47.
- Chen T.-D., Wu Y.-F., Zheng L.-F., 1999. Chinese Astron., vol. 23, p. 277.
- Guertler J., Friedemann C., Reimann H.-G., et al., 1999. Astron. Astrophys. Suppl. Ser., vol. 140, p. 293.
- Herbig G.H., Bell K.R., 1988. Lick Obs. Bull., vol. 1111, p. 1.
- Mora A., Merin B., Solano E., et al., 2001. Astron. Astrophys., vol. 378, p. 116.
- Moshir M. et al., 1990. IRAS Faint Source Catalogue, version 2.0.
- Oudmaijer R.D., Palacios J., Eiroa C., et al., 2001. Astron. Astrophys., vol. 379, p. 564.
- Pirola V., 1975. Ann. Acad. Sci. Fennicae Ser. A VI, vol. 418, p. 61.
- Pugach A.F., 1988. IAU Inform. Bull. Var. Stars, vol. 3181, p. 1.
- Rostopchina A.N., Grinin V.P., Okazaki A., et al., 1997. Astron. Astrophys., vol. 327, p. 145.
- Wenzel W., 1978. Mitt. Verand. Sterne, vol. 8, p. 53.

Crimean program of observations of stars with non-periodic minima. Stars with low activity. I. BH Cep

A. Rostopchina-Shakhovskaya,  D. Shakhovskoy 

Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny 298409
arost@crao.ru

Abstract. We present the results of photopolarimetric *UBVRI* observations of BH Cep, a low-activity UX Ori-type star, carried out between 1998 and 2018. The characteristics of photometric variability are typical for young stars of this type; the unusual feature is the rare brightenings by $0.^m3$ in the *U* and *B* bands. The small depth of the observed minima hampers comparing polarization characteristics with more active stars. However, the observed variability, primarily very large and chaotic variability of the position angle of the linear polarization plane, indicates a more complex picture than that predicted by a simple model taking into account constant polarized scattered radiation, variable unpolarized radiation, and interstellar polarization.

Key words: UX Ori-type stars, young stars, photometry, polarimetry