

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫЙ МАГНИТНЫЙ МИНИМУМ ЗВЕЗДЫ HD 166620 – ВОЗМОЖНОЕ НАЧАЛО АНАЛОГА МАУНДЕРОВСКОГО МИНИМУМА

© 2023 г. И. С. Саванов^{1,*}

¹ Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: isavanov@inasan.ru

Поступила в редакцию 26.04.2023 г.

После доработки 21.05.2023 г.

Принята к публикации 20.06.2023 г.

По фотометрическим наблюдениям, опубликованным в литературе, выполнено изучение проявлений активности карлика HD 166620 (Sp K2 V). Полученные результаты сопоставлены с результатами анализа хромосферной активности звезды. HD 166620 входит в продолжительный магнитный минимум и может являться первым достоверным кандидатом в объекты, находящиеся в минимуме активности, аналогичном минимуму Маундера (ММ) у Солнца. Исследования изменений проявлений магнитной активности звезды проведены по величинам S-индекса (1885 измерений в интервале наблюдений длительностью 53.6 лет), полученным преимущественно до ее вхождения в фазу ММ, и по фотометрическим измерениям блеска в фильтрах *b* и *y*, охватывающим 17 сезонов с 1993 по 2020 г. с помощью автоматического телескопа АРТ (фаза ММ и вход в нее). Установлено, что объединенные в единый массив данные наблюдений обзора Kamogata Wide-field Survey в фильтрах *B*, *V* и *Ic* (порядка 1400 измерений) убедительно демонстрируют долговременную переменность блеска HD 166620 в фазе вероятного ММ состояния. При этом данные наблюдений обзора Kamogata Wide-field Survey хорошо заполняют пробел в фотометрических данных автоматического телескопа АРТ. Величина цикла ($\sim 4000^d$) сопоставима с продолжительностью наблюдений, при ее уточнении по данным большего временного интервала не исключено, что она станет лучше соответствовать значению, найденному по данным о хромосферной активности. К числу основных результатов работы следует отнести обнаруженные нами циклические долговременные изменения активности звезды в ходе начала фазы ММ. Вопрос об уточнении величины периода вращения HD 166620 остается открытым. Практически на всех построенных нами спектрах мощности значимых пиков, соответствующих величине $P = 45.06^d$, принятой ранее как период вращения звезды, обнаружено не было. Отмечено, что требуются дальнейшие наблюдения для установления полной продолжительности фазы минимума активности звезды.

Ключевые слова: звезды, хромосферная активность, Минимум Маундера, фотометрия

DOI: 10.31857/S0004629923070095, **EDN:** NEDRAN

1. ВВЕДЕНИЕ

В исследованиях активности Солнца особое место занимают работы по изучению периода с 1645 по 1715 г., известного как минимум Маундера (ММ), в течение которого активность была очень низкой, возможно, даже постоянной, а не периодической. Особый интерес представляет так называемое ядро ММ (1645–1700 гг.), когда циклическая активность солнечных пятен была едва заметна [1]. Периоды сильно ослабленной солнечной активности часто также называют гранд минимумами (Grand minima, GM). Такие гранд минимумы известны из косвенных свидетельств, предоставленных данными по космическим изотопам ^{14}C и ^{10}Be . Однако ММ является

единственным GM, охваченным прямыми (и некоторыми косвенными, например, такими, как полярные сияния) наблюдениями. Таким образом, он служит ориентиром для остальных GM. Также известны другие периоды снижения активности в течение последних столетий, включая минимум Шпёлера (1450–1540 гг.), минимум Дальтона (1790–1820 гг.), минимум Глейссберга длительностью около 1900 лет.

Наше Солнце изучалось и наблюдалось на протяжении веков [2], в то время как данные наблюдений других звезд охватывают, как правило, несколько десятилетий. Это вызывает значительные трудности в решении вопроса о существовании у других звезд ослабления или исчезновения

долговременной циклической активности. Тем не менее поиск кандидатов-звезд, находящихся в минимуме, аналогичном минимуму Маундера, может быть проведен, например, благодаря мониторингу хромосферной звездной активности.

Имеющиеся наблюдения обеспечивают возможность продолжения поиска кандидатов звезд, находящихся в минимуме, аналогичном минимуму Маундера, например, в ходе мониторинга хромосферной звездной активности при реализации НК проекта в обсерватории Mount Wilson (начато Олин Вилсоном в 1966 г.). В качестве индикатора активности рассматривались данные об излучении в эмиссионных ядрах линий Ca II H и K (длины волн λ_{3968} и $3934 \text{ \AA}$ соответственно). Успех программы привел к проведению аналогичных исследований для изучения хромосферной активности большего количества объектов. Число звезд, которые могут быть отнесены к кандидатам в объекты (мы будем называть их ММ-звезды или ММ-объекты), активность которых проявляет характеристики, аналогичные минимуму Маундера, сравнительно невелико. К ним, например, следует отнести звезды HD 3651, HD 4915, HD 140538 [3].

Батлер и др. [4] представили результаты долговременных измерений хромосферной активности 59 звезд, более детально были изучены данные для 29 звезд с циклами активности, и в качестве возможного кандидата в ММ-объекты была предложена звезда HD 166620. Ссылки на публикации, посвященные изучению других кандидатов в объекты с ММ активностью, можно найти, например, в статьях [3, 4].

В дальнейшем Донахью и др. [5] рассмотрели HD 166620 как кандидата в ММ-объекты на основе почти 50-летних данных о хромосферной активности по наблюдениям Mount Wilson и Keck HIRES. Эти данные указали на наличие циклических изменений с характерным временем 17 лет во время наблюдений на Mount Wilson и практическое отсутствие переменности по наблюдениям с телескопом Keck. К сожалению, в указанных данных почти не содержится информации о переходе между этими двумя состояниями. Донахью и др. [5] представили дополнительные данные, которых нет в работе [4], а также результаты фотометрических наблюдений в течение почти 30-летнего периода, которые отслеживают переход от циклической активности к длительной фазе постоянного уровня активности.

По мнению Донахью и др. [5], ими были представлены убедительные доказательства того, что звезда входит в продолжительный магнитный минимум и, следовательно, может являться первым истинным кандидатом в ММ-объекты. Согласно [5], ни общая яркость, ни уровень хромосферной активности (измеренный индекс S) не были зна-

чительно более низкими во время большого магнитного минимума, чем во время минимума циклической активности звезды, указывая на то, что аномально низкие величины среднего или произвольно измеренного уровней активности не являются хорошей диагностикой или критерием для поиска дополнительных ММ-кандидатов. При этом по их оценке внутрисезонная переменность индекса S ниже в продолжительном минимуме звезды. Донахью и др. [5] считают это полезным критерием при изучении явления ММ.

Цель нашего исследования состоит в изучении активности HD 166620 по ее фотометрическим наблюдениям, опубликованным в литературе, для проведения сопоставлений с результатами анализа хромосферной активности.

2. ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ HD 166620

Звезда HD 166620 является ярким K2 V карликом, ее блеск составляет в фильтрах B , V , R соответственно: $B = 7.27^m$, $V = 6.40^m$, $R = 5.63^m$. Согласно [5], эффективная температура звезды равна 4970 K, ускорение силы тяжести $\log g = 4.51$ и масса $M/M_{\odot} = 0.78$. HD 166620 отождествлена с источником Gaia EDR3 4610 177 733 290 768 896, ее параллакс составляет $\pi = 90.1234 \pm 0.0156 \text{ mas}$.

Отметим, что перечисленные нами свойства объекта приводятся согласно данным, указанным в работах [4, 5]. Изучение HD 166620 представляет несомненный интерес, поскольку звезда является близким ярким карликом и, согласно [5], возможно лучшим из немногих кандидатов в объекты, пригодных для исследований ММ активности.

По данным многолетнего обзора Kamogata Wide-field Survey (KWS)¹ мы попытались проанализировать переменность блеска HD 166620 в длительной фазе постоянного уровня активности. В обзоре представлены наблюдения звезды в фильтрах B , V и I_c , они охватывают интервал наблюдений длительностью 4137 сут (11.3 года) (HJD 245 5652.337–245 9790.032). Наиболее многочисленны данные о блеске объекта в фильтре V . Всего было рассмотрено 728 оценок блеска звезды в этом фильтре. Представленные на рис. 1 (вверху) данные несомненно свидетельствуют о присутствии циклическости изменений ее блеска, на этапе, когда считается, что звезда находилась в состоянии Маундеровского минимума. На основе построенного спектра мощности для блеска HD 166620 можно предположить существование возможных циклов активности около 1700 и 3150^d (рис. 1, средняя диаграмма) и переменности на

¹ <http://kws.cetus-net.org>

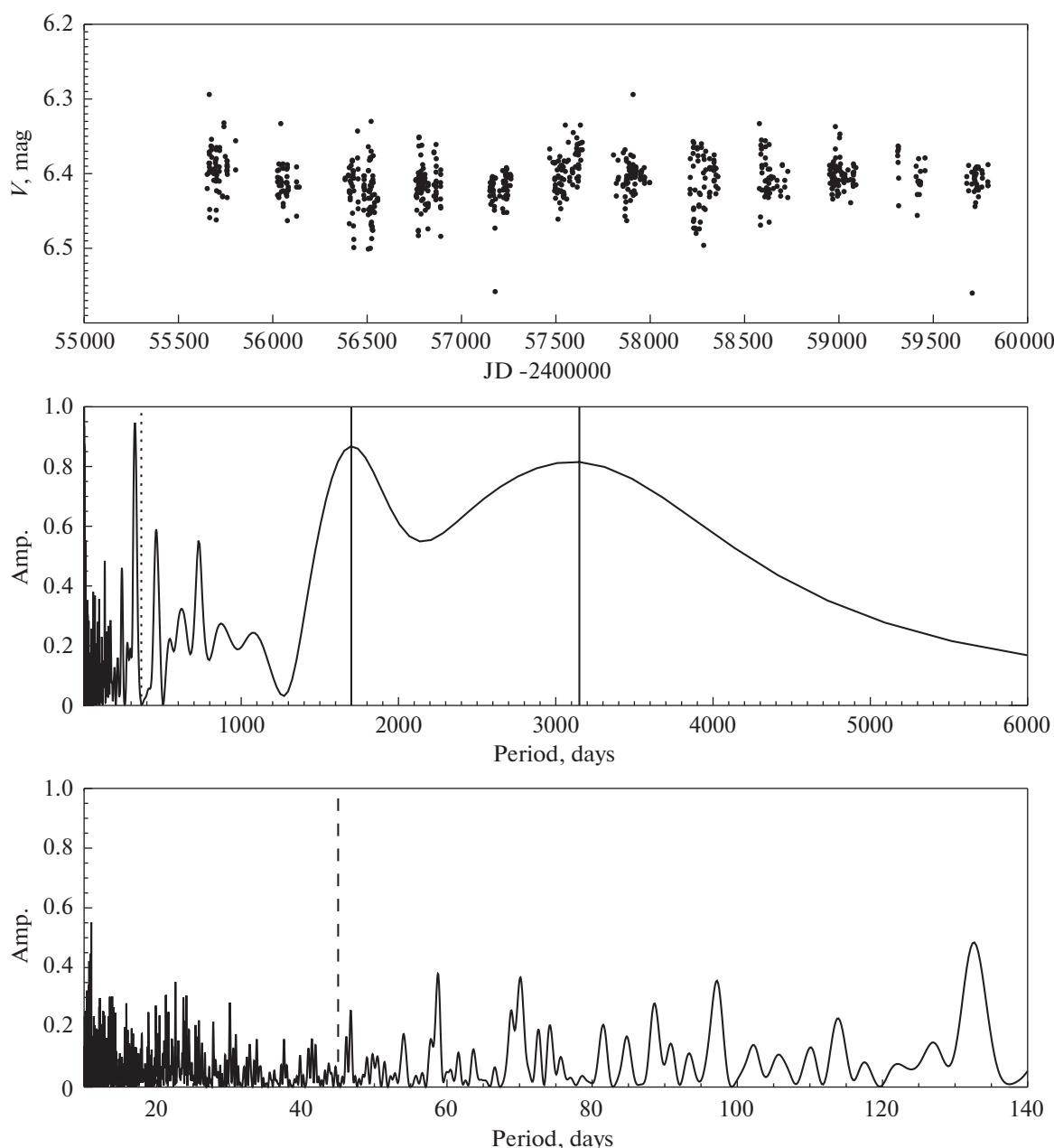


Рис. 1. Верхняя панель: фотометрические наблюдения HD 166620 в фильтре V по данным обзора Kamogata Wide-field Survey (KWS). Средняя панель: спектр мощности для этих данных, вертикальные линии соответствуют циклам активности 1700 и 3150^d (4.7 и 8.6 лет соответственно). Пунктирная линия соответствует сезонному периоду ($\sim 356^d$). Внизу: спектр мощности для интервала периодов 10–140^d. Штриховая линия соответствует величине $P = 45.06^d$ из работы [5].

шкале времени порядка 10–100^d, характеризующей вероятный период вращения звезды (рис. 1, нижняя диаграмма).

Донахью и др. [5] выполнили поиск значимых пиков периодограммы вблизи ранее сообщенного среднего периода $P = 42.4^d$ [6], а также для половинного значения $P/2$ (две активные области

на поверхности звезды). По данным для 9 сезонов в работе [5] была найдена величина $P = 45.06 \pm 4.07^d$. Полный диапазон обнаружений P составлял от 37.96 до 50.99^d. Разброс значений величин P согласно [5], вероятно, отражает сложную комбинацию дифференциального вращения поверхности, роста и затухания активно-

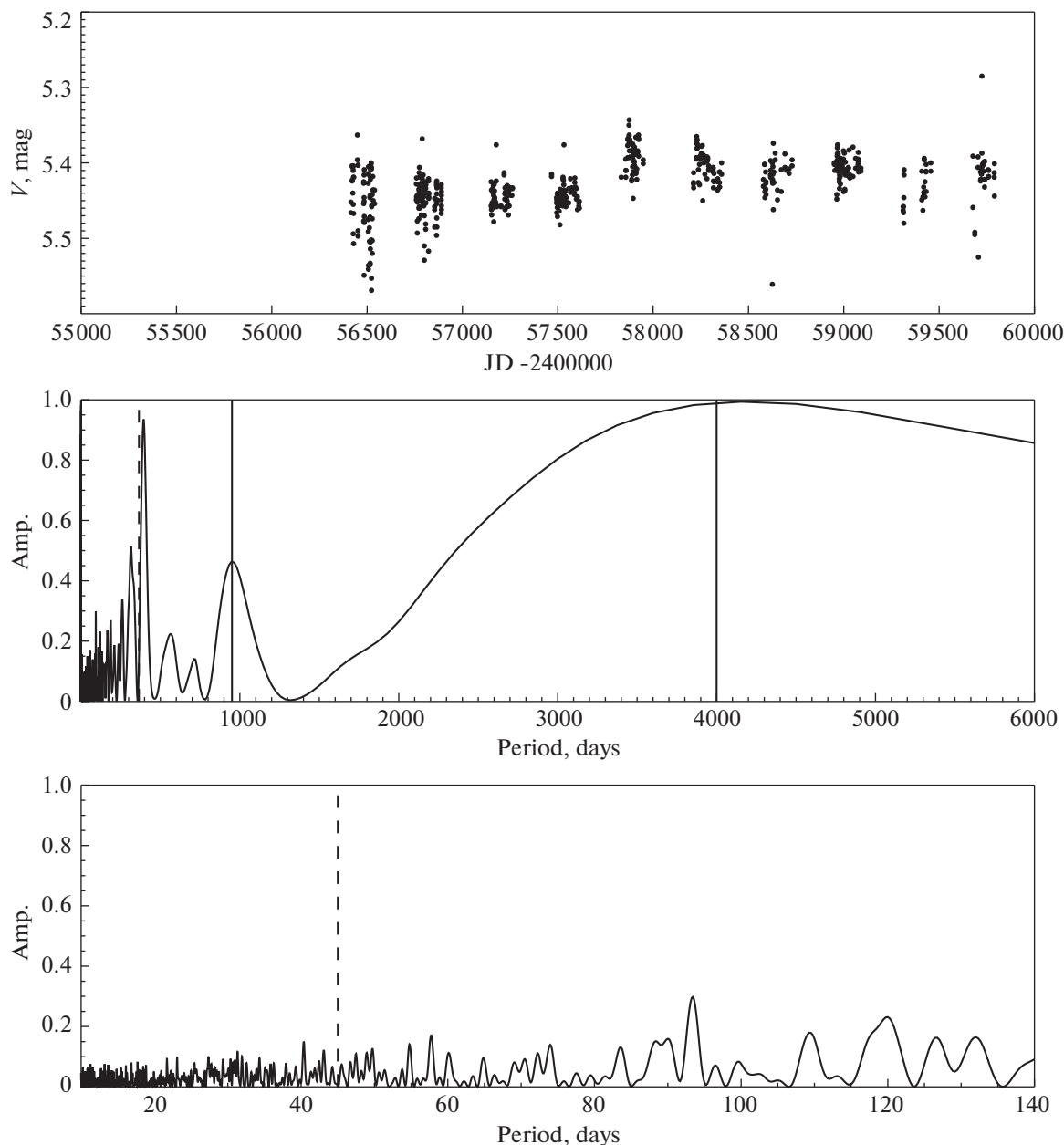


Рис. 2. Верхняя панель: фотометрические наблюдения HD 166620 в фильтре I_c по данным обзора Kamogata Wide-field Survey (KWS). Средняя панель: спектр мощности для этих данных, вертикальные линии соответствуют циклам активности 940 и 4000^d (2.6 и 10.96 лет соответственно). Внизу: спектр мощности для интервала периодов 10–100^d. Штриховая линия соответствует величине $P = 45.06^d$ из работы [5].

сти. Эта обновленная величина P и диапазон ее изменений должны улучшить значение, указанное в [6]. Согласно нашему результату на шкале времени порядка 10–100^d (рис. 1, нижняя диаграмма) значимого пика, соответствующего величине $P = 45.06^d$ из работы [5] (вертикальная штриховая линия) не наблюдается. В диапазоне 38–50^d более представлен пик для величины

$P = 47^d$, а во всем рассматриваемом диапазоне обращают на себя внимание пики для P , равные 58 и 70 дней.

Менее многочисленными являются данные о блеске объекта в фильтре I_c . Всего имеется 563 оценки блеска звезды в этом фильтре. Представленные на рис. 2 (вверху) данные несомненно свидетельствуют об изменении ее блеска в рассматриваемом интервале времени. Можно пред-

положить наличие возможных циклов активности около 940 и 4000^d (сопоставимого с длительностью интервала наблюдений) (рис. 2, средняя диаграмма) и переменности на шкале времени порядка 10–100^d, с пиком для периода около 94^d (рис. 2, нижняя диаграмма). В интервале времени, характеризующем вероятный период вращения звезды, можно указать лишь на пики для $P = 58^d$ и более 90^d. Проявлений деталей, соответствующих $P = 45.06^d$, не найдено.

Наконец, совсем малочисленными являются данные наблюдений звезды в фильтре B – всего 65 измерений. Рассматривать поиски переменности по этим данным не представляется возможным.

Донахью и др. [5] объединили измерения хромосферной активности звезды и фотометрические данные, полученные в фильтрах b и y , в общий массив (см. описание процедуры и рис. 1 в их статье). Результирующие объединенные временные ряды продемонстрировали хорошее соответствие между активностью и яркостью, показав, что, когда звезда переходила от циклической переменности к стабильному поведению, ее блеск стал слабее.

Мы поступили аналогичным образом, объединив в единый массив все наблюдения обзора Kamogata Wide-field Survey в фильтрах B , V и I_c (рис. 3). Полученный набор данных включает порядка 1400 измерений и, вероятно, более убедительно демонстрирует долговременную переменность блеска звезды (верхняя панель рис. 3). Отметим, что данные наблюдений обзора Kamogata Wide-field Survey хорошо заполняют пробел в фотометрических данных, представленных в [5]. Величина цикла (около 4000^d) сопоставима с продолжительностью наблюдений, так что не исключено, что при ее уточнении по данным большего временного интервала, она станет лучше соответствовать значению, найденному по данным о хромосферной активности. При этом для переменности на шкале времени порядка 10–150^d, характеризующей вероятный период вращения звезды (рис. 1, нижняя диаграмма), мы смогли найти указания на наличие пиков в области величин P около 89 и 119 дней, а не рассматриваемого в работе [5] $P = 45^d$ (штриховая линия).

3. ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ БЛЕСКА HD 166620 В ФИЛЬТРАХ b, y

Донахью и др. [5] опубликовали результаты 1278 фотометрических измерений блеска HD 166620 в фильтрах b и y , охватывающих 17 сезонов с 1993 по 2020 г. (в течение сезонов с 2005 по 2015 г. наблюдения не проводились). Все наблю-

дения были выполнены с помощью автоматического телескопа с апертурой 0.75 м (АРТ) в Fairborn Observatory (Аризона). Как указывалось выше, оценки блеска, полученные в фильтрах b и y , были объединены в общий массив (описание процедуры приведено в статье [5]).

Представленные на рис. 4 (вверху) данные образуют два массива, разделенных значительным временным промежутком, первый из которых соответствует стадии, когда звезда вероятно входила в состояние минимума активности, а второй – когда она уже находилась в состоянии Маундеровского минимума. На основе построенного спектра мощности для блеска HD 166620 можно предположить существование возможных циклов активности порядка 2430, 3400 и 5600^d (рис. 4, центральная диаграмма).

На нижней диаграмме рис. 4 приведены участки спектра мощности в интервале 1–140^d, который соответствует величинам возможного периода вращения звезды. Светлой линией представлен спектр мощности, построенный по данным последних сетов наблюдений звезды (измерения выполнены после HJD 245 7250, т.е. когда звезда, возможно, находилась в состоянии, соответствующем ММ). Штриховой линией на рисунке показана величина P , принятая в [5] как период вращения звезды (45.06^d). Значимых пиков, соответствующих этой величине, не найдено. При этом в интервал ΔP от 33.4 до 50.8^d, принятый в [6] в качестве возможного диапазона изменений величины периода вращения, попадает достаточно много других пиков разной амплитуды (меньшей или сопоставимой с пиками вне рассматриваемого диапазона).

4. ХРОМОСФЕРНАЯ АКТИВНОСТЬ HD 166620

Для анализа хромосферной активности звезды Донахью и др. [5] использовали данные, представленные в [4], а также все другие имеющиеся литературные источники. Описание полного набора данных и их редукций содержится в работе [5], раздел 2. Полученный в итоге временной ряд S-индекса содержит 1885 измерений (верхняя диаграмма рис. 5), они охватывают интервал наблюдений более чем 19 570 дней (53.6 года). Можно согласиться с Донахью и др. [5], что звезда входит в продолжительный магнитный минимум и, вероятно, является первым истинным кандидатом в ММ-объекты.

Построенный спектр мощности указывает на цикличность изменений с величинами порядка 1630, 4600 и 6500 сут (4.5, 12.6 и 17.8 лет) (рис. 5). Следует иметь в виду, что оценки получены по данным, имеющим продолжительность измерений порядка двух с небольшим циклов и, возмож-

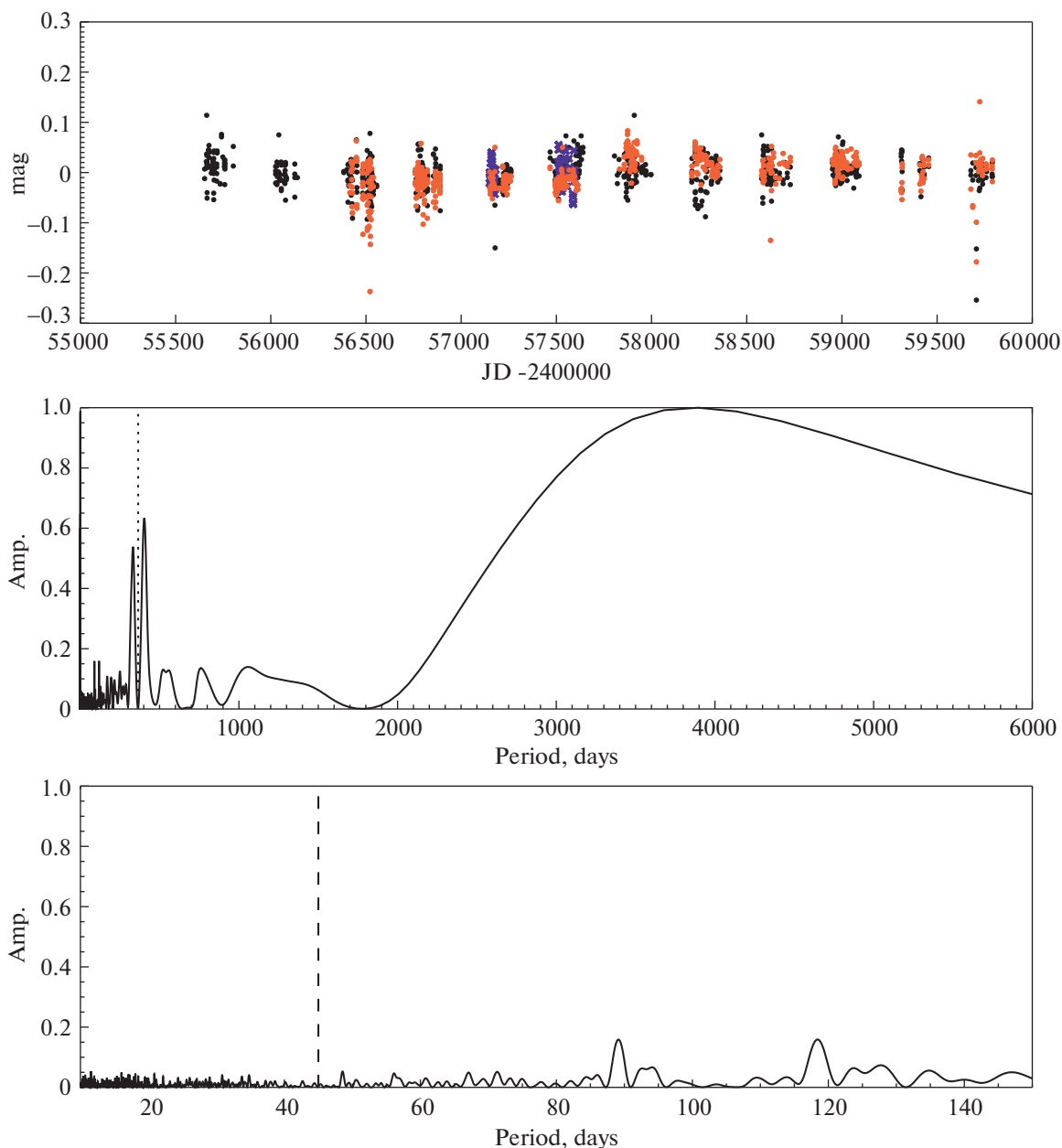


Рис. 3. Верхняя панель: единый массив фотометрических наблюдений HD 166620 в фильтрах B (синие крестики), V (темные кружки) и Ic (светлые кружки) по данным обзора Kamogata Wide-field Survey (KWS) (см. текст). Средняя панель: спектр мощности для этих данных, пунктирная линия соответствует сезонному периоду ($\sim 356^d$). Внизу: спектр мощности для интервала периодов $10\text{--}100^d$. Штриховая линия соответствует величине $P = 45.06^d$ из работы [5].

но, обладающим систематическим трендом. Отметим, что HD 166620 является холодным карликом спектрального класса K2 V, при этом установленная для него величина продолжительности цикла около 17 лет превосходит солнечную. На нижней панели рис. 5 представлен участок спектра мощности в интервале $1\text{--}140^d$. Штриховая линия соответствует величине $P = 45.06^d$ из

работы [5]. Значимых пиков, указывающих на период вращения звезды, на наш взгляд, не имеется.

Как отмечалось, полный набор данных указывает на наличие циклических изменений с характерным временем порядка 17 лет во время наблюдений на Mount Wilson и практическое отсутствие переменности по наблюдениям с телескопом Keck (представлены один неполный цикл актив-

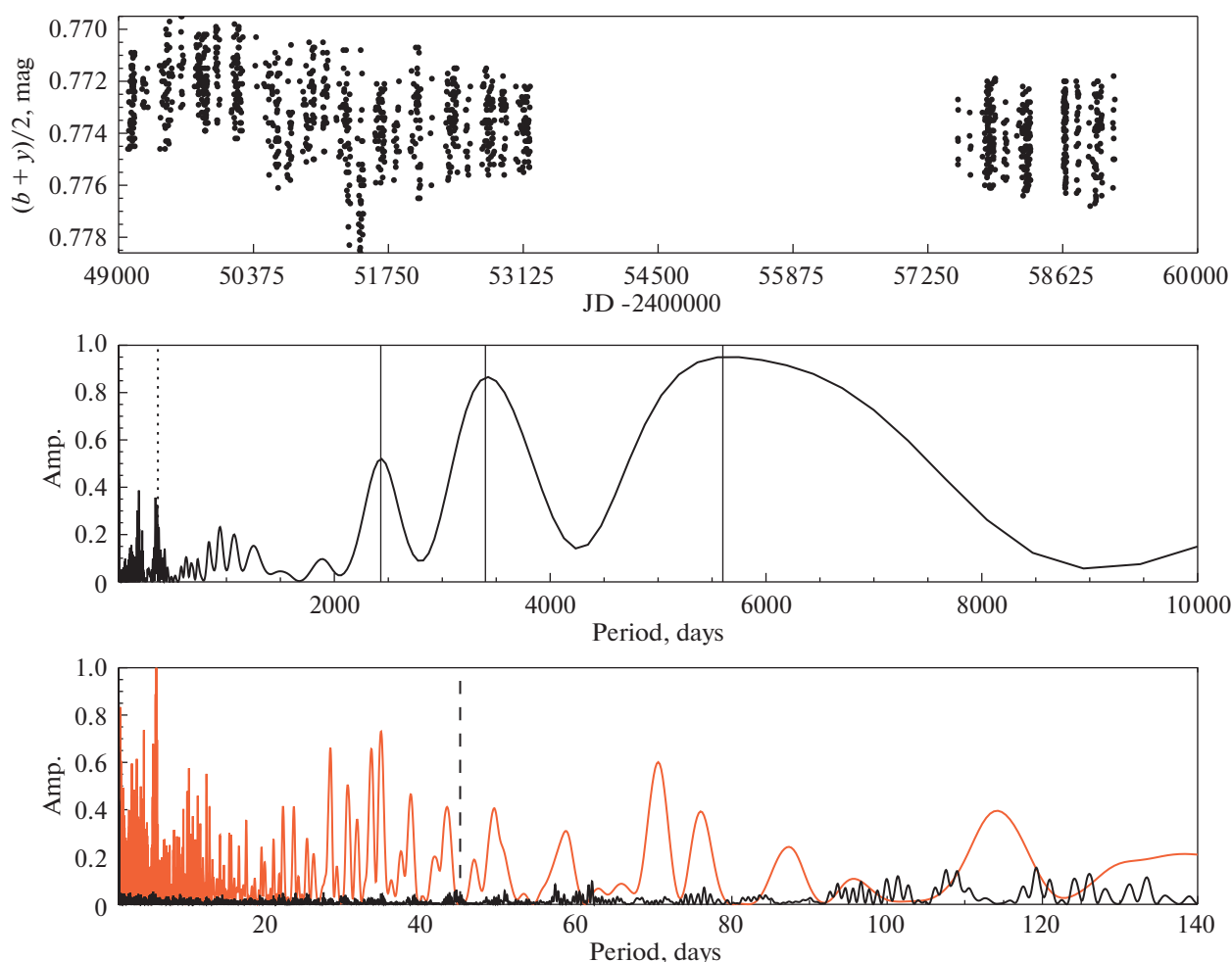


Рис. 4. Вверху: фотометрические наблюдения HD 166620 по измерениям в фильтрах b и y . Центр: спектр мощности для этих данных. Вертикальные линии — циклы активности ~ 2430 , 3400 и 5600^d . Пунктирная кривая соответствует 365-дневной сезонной переменности, присутствующей в данных. Внизу: участок спектра мощности в интервале $1\text{--}140^d$ (темная линия); светлая линия — то же, но по измерениям, выполненным после HJD 245 7250. Штриховая линия соответствует величине $P = 45.06^d$ из работы [5].

ности, один полный, около трети цикла и стадия перехода к возможному состоянию, аналогичному ММ). Форма кривой измерений S -индекса во время наиболее подробно представленного полного цикла в значительной степени подобна аналогичной для Солнца (см., напр., [2]): более плавный спад после максимума и более крутой подъем после минимума. Доная и др. [5] представили дополнительные данные, отсутствующие в [4], и результаты фотометрических наблюдений в течение почти 30-летнего периода, которые отслеживают переход от циклической активности к длительной фазе постоянного уровня активности. Измерения S -индекса в фазе перехода к состоянию ММ, начиная с 1997 г., немногочисленны, и к тому же они отличаются от основного набора данных величиной погрешности, что несомненно

затрудняет сопоставление результатов (например, величин S -индекса в минимумах). Это обстоятельство делает менее убедительным вывод из работы [5] о том, что внутрисезонная переменность S -индекса ниже в продолжительном минимуме звезды, чем в предыдущих минимумах.

Хотелось бы сделать заключение о том, что глубина длительного магнитного минимума становится больше, чем глубины предшествующих минимумов циклической активности HD 166620, но в этом случае мы также сталкиваемся с проблемой изменения величины погрешности S -индекса в двух сетах наблюдений. Кроме того, рассматриваемые данные могут содержать общий тренд, свидетельствующий об уменьшении активности звезды со временем, например, предшествующие минимумы около HJD 244 2000 и HJD 244 8000

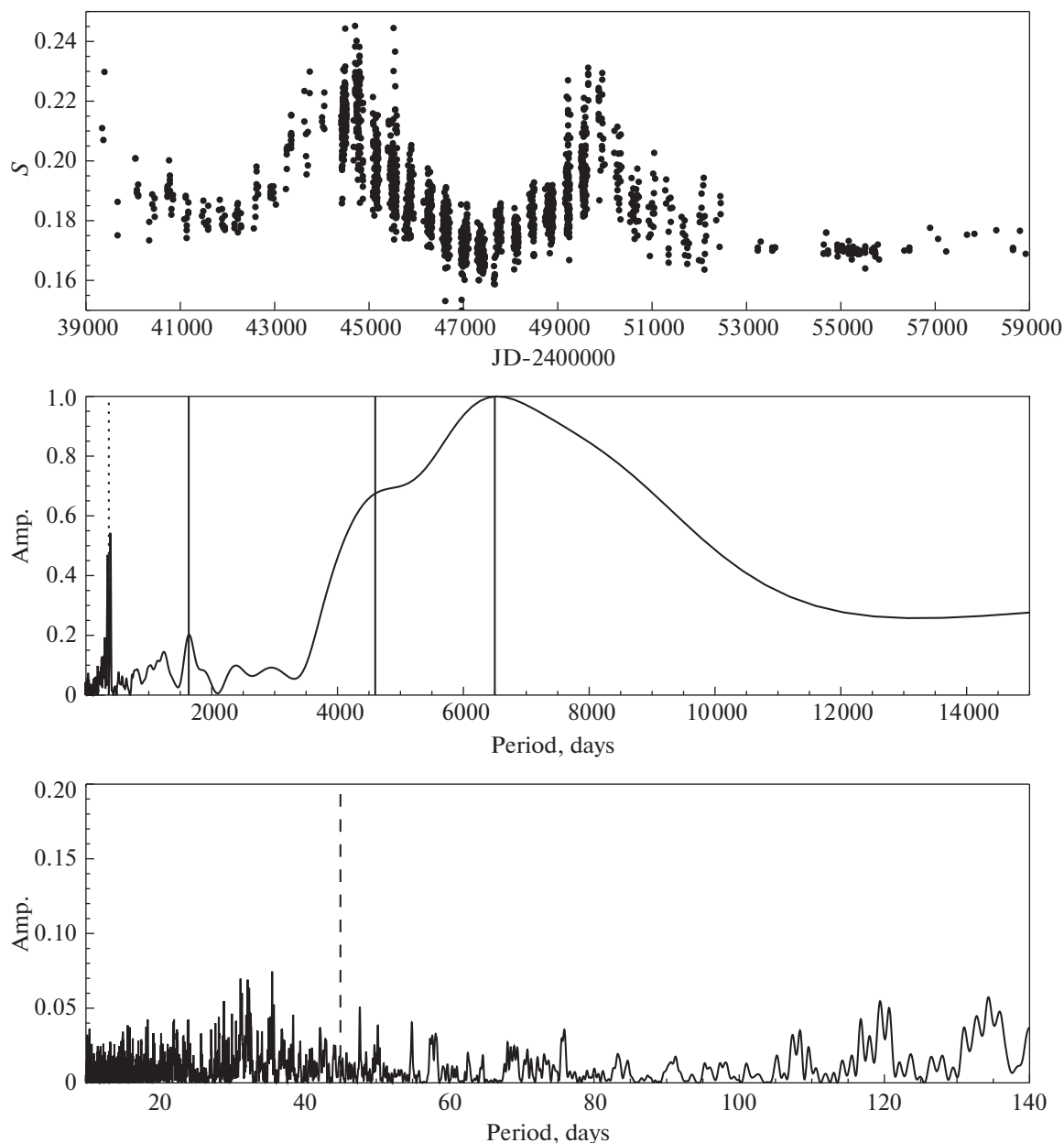


Рис. 5. Верхняя панель: индекс S по измерениям, приведенным в работе [5]. Центральная панель: спектр мощности для этих данных, вертикальные линии соответствуют циклам активности 1630, 4600, и 6500^d (4.5, 12.6 и 17.8 лет соответственно). Нижняя панель: участок спектра мощности в интервале $1-140^d$. Штриховая линия соответствует величине $P = 45.06^d$ из работы [5].

различаются по глубине. Завершается ли тренд в течение стадии ММ, сказать трудно, поскольку данные немногочисленны. Напротив, не исключена возможность, что имеется подъем в величине S -индекса. Фотометрические данные (представленные в [5] и в архиве обзора Kamogata Wide-field Survey) не дают указаний о наличии, помимо циклической переменности, еще и тренда. Несомненно, требуются дальнейшие наблю-

дения для уточнения характеристик хромосферной активности звезды.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Открытие звезды-аналога в стадии ММ могло бы дать возможность более полно понять проявления изменений активности нашего Солнца во время его ММ. Несомненно, что для того, чтобы

с наибольшей вероятностью отнести звезду к категории ММ-объектов, требуются наблюдения ее входа в период постоянной или низкой циклической активности (длительностью больше, чем величина типичного цикла) и перехода из него в нормальный цикл. Это достаточно сложная задача, для которой необходимы длительные наблюдения, охватывающие все перечисленные выше фазы активности.

В литературе широко представлены результаты обсуждения способов идентификации кандидатов в объекты, входящих в фазу активности, аналогичную минимуму Маундера [3, 4]. Были предприняты многочисленные попытки установить критерии для таких кандидатов с использованием анализа их S-индексов. Однако применение этих критериев сталкивается с очевидными трудностями: во-первых, у нас нет количественных непосредственно сопоставимых данных о хромосферной активности Солнца во время его пребывания в фазе ММ. Во-вторых, только по данным анализа их S-индексов достаточно затруднительно выделить ММ-кандидаты среди звезд, обладающих постоянной низкой активностью, проэволюционировавших звезд с ослабленной активностью и пр.

Неудивительно, что число звезд, которые могут быть отнесены к кандидатам в ММ-объекты, составляет единицы [4, 5]. Несомненно, требуется детальное изучение каждого из таких кандидатов. Ранее в нашем исследовании были подробно изучены проявления активности одной из таких звезд (HD 4915) по имеющимся фотометрическим наблюдениям. Эта звезда является ярким G5 V карликом солнечного типа, что представляет дополнительный особый интерес с точки зрения сравнения ее активности с солнечной. Оценка возможных циклов активности HD 4915 была проведена нами по трем независимым наборам фотометрических данных. Полученные данные (их объединенный массив включал в себя наблюдения звезды на протяжении почти 8000 дней (21.9 лет)) несомненно свидетельствуют об изменении блеска звезды и присутствии его циклических изменений, в том числе на этапах, когда происходило уменьшение амплитуды переменности хромосферной активности.

Согласно [5] имеются убедительные доказательства того, что яркий K2 V карлик HD 166620 входит в продолжительный магнитный минимум и, следовательно, может являться первым истинным кандидатом в ММ-объекты.

В нашей работе выполнено изучение проявлений активности звезды по ее фотометрическим наблюдениям, опубликованным в литературе, для проведения сопоставлений с результатами анализа хромосферной активности. Исследования изменений магнитной активности звезды вы-

полнены по величинам S-индекса (1885 измерений за 19 570 дней (53.6 года)), полученным преимущественно до вхождения HD 166620 в фазу ММ и по фотометрическим измерениям ее блеска в фильтрах b и y , охватывающим 17 сезонов с 1993 по 2020 г. с помощью автоматического телескопа АРТ в Fairborn Observatory (Аризона) (фаза ММ и вход в нее). Объединенные в единый массив данные наблюдений обзора Kamogata Wide-field Survey в фильтрах B , V и I_c (порядка 1400 измерений) убедительно демонстрируют долговременную переменность блеска звезды в фазе вероятного ММ состояния. Отметим, что данные наблюдений обзора Kamogata Wide-field Survey хорошо заполняют пробел в фотометрических данных, представленных в [5]. Величина цикла ($\sim 4000^d$) сопоставима с продолжительностью наблюдений, так что не исключено, что при ее уточнении по данным более длительного временного интервала, она станет больше соответствовать значению, найденному по данным о хромосферной активности.

Таким образом, обнаруженные нами циклические долговременные изменения активности HD 166620 в ходе начала фазы ММ следует отнести к числу основных результатов работы. Вопрос об уточнении величины периода вращения звезды остается открытым. Практически на всех построенных нами спектрах мощности значимых пиков, соответствующих величине $P = 45.06^d$, принятой в работе [5] как период вращения звезды, обнаружено не было. Требуются дальнейшие наблюдения для установления продолжительности ММ фазы у HD 166620 (т.е. возвращения к нормальному циклу).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках проекта “Исследование звезд с экзопланетами” по гранту Правительства РФ для проведения научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых (соглашения №№ 075-15-2019-1875, 075-15-2022-1109).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Biswas, B. B. Karak, I. Usoskin, and E. Weisshaar, *Space Sci. Rev.* **219**(3), id. 19 (2023).
2. R. Egeland, W. Soon, S. Baliunas, J. C. Hall, A. A. Pevtsov, and L. Bertello, *Astrophys. J.* **835**, id. 25 (2017).
3. S. P. Shah, J. T. Wright, H. Isaacson, A. W. Howard, and J. L. Curtis, *Astrophys. J.* **863**, id. L26 (2018).
4. A. C. Baum, J. T. Wright, J. K. Luhn, and H. Isaacson, *Astron. J.* **163**(4), id. 183 (2022).
5. J. K. Luhn, J. T. Wright, G. W. Henry, S. H. Saar, and A. C. Baum, *Astrophys. J.* **936**, id. L23 (2022).
6. R. A. Donahue, S. H. Saar, and S. L. Baliunas, *Astrophys. J.* **466**, 384 (1996).

LONG MAGNETIC MINIMUM OF HD 166620 – POSSIBLE BEGINNING OF THE ANALOGUE OF THE MAUNDER MINIMUM

I. S. Savanov^a

^a*Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Based on photometric observations published in the literature, the manifestations of the activity of the K2V dwarf HD 166620 were studied. The obtained results are compared with the results of the analysis of the chromospheric activity of the star. HD 166620 is entering in a long magnetic minimum and may be the first reliable candidate for objects that are at a minimum of activity similar to the Maunder minimum (MM) of the Sun. Studies of changes in the magnetic activity of the star were carried out based on the values of the S-index (1885 measurements in the observation interval for 53.6 years), obtained mainly before its entry into the MM phase, and on photometric measurements of the brightness in the b and y filters covering 17 seasons from 1993 to 2020 obtained with the automatic APT telescope (MM phase and its beginning). It has been established that the Kamogata Wide-field Survey observation data combined into a single array in filters B, V and Ic (about 1400 measurements) convincingly demonstrates the long-term variability of the HD 166620 brightness in the phase of the probable MM state. At the same time, the observations of the Kamogata Wide-field Survey fill the gap in the photometric data of the APT automatic telescope well. The value of the cycle (about 4000 days) is comparable to the duration of observations, with its refinement by according to the data of a larger time interval, it is possible that it will correspond more to the value found from the data on chromospheric activity. The main results of the work should include the cyclic long-term changes in the activity of the star detected by us during the beginning of the MM phase. The question of clarifying the value of the rotation period HD 166620 remains open. There were no significant peaks corresponding to the value $P = 45.06$ days, previously accepted as the period of rotation of the star, on almost all the power spectra constructed by us. It is noted that further observations are required to establish the full duration of the minimum phase of the star's activity.

Keywords: stars, chromospheric activity, Maunder minimum, photometry