

УДК 524.316.4:520.82

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ LO Peg В 2017 ГОДУ

© 2018 И. С. Саванов^{1*}, С. А. Нароенков¹,
М. А. Наливкин¹, В. Б. Пузин¹, Е. С. Дмитриенко²

¹Институт астрономии РАН, Москва, 119017 Россия

²Государственный астрономический институт имени П. К. Штернберга Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва, 119992 Россия

Поступила в редакцию 8 ноября 2017 года; принята в печать 1 декабря 2017 года

В 2017 году с помощью роботизированной широкоугольной системы наблюдений в Звенигородской обсерватории ИНАСАН проведены новые наблюдения ультрабыстрого ротатора спектрального класса K — звезды LO Peg. По кривым блеска восстановлены карты температурных неоднородностей на поверхности LO Peg и определены долготы, соответствующие положению активных областей. Установлены продолжающаяся эволюция перемещения активных областей и явление переключения положений активных долгот в 2017 году. Площадь поверхности звезды, покрытая пятнами, перестала уменьшаться и к настоящему времени достигла 17% от площади ее полной видимой поверхности. Проведено уточнение величин циклов долговременной переменности LO Peg, и отмечены значительные изменения в форме спектра мощности. В циклах долговременной переменности свыше 5 лет стали проявляться лишь два цикла в 5.55 и 9.25 лет. На основе анализа диаграмм, иллюстрирующих связь параметра запятненности с вращением, возрастом и числами Россби для LO Peg, 1570 звезд-карликов спектрального класса M и восьми объектов из скопления Плеяды с массами, соответствующими оценке массы для LO Peg ($0.75 M_{\odot}$), сделано заключение о повышенной активности (запятненности) LO Peg в сравнении с сопоставимыми по свойствам объектами.

Ключевые слова: *звезды: магнитные поля — звездные пятна — звезды: индивидуальные: LO Peg — методы: высокое угловое разрешение*

1. ВВЕДЕНИЕ

LO Peg является молодой звездой спектрального класса K3 и принадлежит к числу наиболее изученных быстровращающихся звезд поздних спектральных классов. Ее возраст оценивается в 10–300 млн. лет [1]. Звезда является членом группы звезд AB Dor [2], обладающих общим пространственным движением, для которых имеется независимая оценка возраста, 30–150 млн. лет. Экваториальная скорость вращения этой звезды составляет 65 км с^{-1} , что дает основание отнести ее к числу сверхбыстрых ротаторов поздних спектральных классов. За последние годы опубликованы многочисленные работы, посвященные фотометрическим и поляриметрическим исследованиям этой звезды. Обзор основных свойств LO Peg, представленный ниже, приводится согласно источникам из [3, 4].

Эффективная температура звезды равна 4750 K [5], что соответствует спектральному классу K3. В спектре наблюдается сильная линия лития и эмиссия в линиях H α , Ca II H+K, что

служит подтверждением возможной магнитной активности объекта. Вращательная модуляция переменности блеска звезды указывает на наличие поверхностных температурных неоднородностей (холодных пятен). Фотометрическая переменность LO Peg изучалась многими авторами (см. [5–8]). Результаты многоцветных поляриметрических наблюдений были опубликованы в работе [5]. Особенности поверхности звезды были выявлены с помощью доплеровского картирования [9–11] по результатам высокодисперсионных спектральных наблюдений.

Наиболее обширное исследование активности LO Peg представлено нами в работе [3]. Оно базируется на более чем 24-летних фотометрических наблюдениях звезды и содержит результаты всестороннего анализа фотометрической переменности, изучения циклов активности, оценок дифференциального вращения звезды, ее вспышечной активности, а также результаты анализа наблюдений LO Peg на спутнике Swift.

Позднее [12] нами был проведен анализ наблюдений LO Peg, выполненных в 2014–2015 гг. в

*E-mail: isavanov@inasan.ru

САО РАН и Звенигородской обсерватории ИНАСАН, которые не вошли в публикацию [3]. Эти исследования были дополнены результатами анализа спектрополяриметрических наблюдений LO Peg (с поляриметром БТА) с целью измерения величины продольной компоненты ее магнитного поля. В пределах наблюдаемых погрешностей зарегистрировать магнитное поле изучаемой звезды нам не удалось.

В данной работе мы представляем результаты наблюдений LO Peg, проведенных в 2017 году в Звенигородской обсерватории ИНАСАН с помощью роботизированного телескопа, и даем краткое описание этой роботизированной системы наблюдений. На основе новых, полученных нами, результатов и данных литературных источников нами рассмотрены свойства этого уникального объекта и проведено их сопоставление со свойствами других быстровращающихся карликов.

2. ОПИСАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ШИРОКОУГОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ В ЗВЕНИГОРОДСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИНАСАН

Роботизированная широкоугольная система мониторинга околоземного пространства Звенигородской обсерватории ИНАСАН позволяет в автоматическом режиме проводить наблюдения космических объектов по заранее заданному плану. Она создана на базе широкоугольного телескопа VT-78d, опорно-поворотного устройства ASA DDM85, фотоприемного устройства FLI Proline 16803 (4k×4k) с колесом светофильтров *U, B, V, R, I* системы Джонсона и купола ScopeDome 3M. Широугольный телескоп VT-78d построен по схеме, рассчитанной В. Ю. Тербижем [13]. Апертура телескопа — 250 мм, угловой диаметр поля зрения — 10° для матрицы 50×50 мм, фокусное расстояние — 395 мм. Опорно-поворотное устройство ASA DDM85 представляет собой экваториальную монтировку с прямым приводом.

Система оснащена устройствами для контроля погодных условий — метеостанцией Davis Vantage pro2, датчиком облачности AAG CloudWatcher, широкоугольной камерой для обзора неба (all-sky) Starlight Xpress. Такая конфигурация оборудования при использовании совместно со специально разработанным программным обеспечением позволила создать роботизированную широкоугольную оптическую систему, работающую в автоматическом режиме. Для управления и получения информации с погодных датчиков разработан программный модуль «Программа-контроллер погодных условий». Он позволяет получать, хранить и

анализировать данные с устройств оценки погодных условий.

Сеанс наблюдений в автоматическом режиме проходит под управлением программы «Программа-контроллер управления сеансом наблюдений оптического телескопа». Она управляет всем оборудованием, необходимым для проведения наблюдений — куполом, опорно-поворотным устройством, камерой, колесом светофильтров. Управление оборудованием осуществляется с использованием широко распространенного стандарта управления астрономическим оборудованием ASCOM. Программа позволяет проводить обзоры небесной сферы для поиска новых объектов, наблюдать единичные объекты в разных фотометрических фильтрах, реагировать на особые события — гамма-всплески (GRB), события, зафиксированные телескопами Баксанской нейтринной обсерватории. Сведения о каждом полученном изображении участка небесной сферы сохраняются в специальной базе данных, позволяя, в случае необходимости, провести дополнительную обработку или исследование по новой задаче. Структурная схема роботизированной широкоугольной системы мониторинга околоземного пространства представлена на рис. 1.

«Программа-контроллер управления сеансом наблюдений оптического телескопа» постоянно обменивается информацией с «Программой-контроллером погодных условий» для получения актуальных данных о метеоусловиях. При ухудшении погодных условий «программа-контроллер управления сеансом наблюдений» прекращает сеанс.

3. ФОТОМЕТРИЯ. ОПИСАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ ОБРАБОТКА

На Звенигородской обсерватории ИНАСАН в августе–сентябре 2017 г. были проведены новые фотометрические наблюдения звезды LO Peg. Использовалась роботизированная широкоугольная система мониторинга околоземного пространства. Регистрация производилась на ПЗС-приемник FLI Proline 16803 с размером чипа камеры 4096×4096 пикселей, размер пиксела — 9×9 микрон. Время экспозиции (от 20 до 60 секунд) выбиралось для каждого фильтра и ночи индивидуально, таким образом, чтобы количество отсчетов, получаемых для LO Peg и звезд сравнения, соответствовало примерно половине динамического диапазона камеры. Анализируемое поле зрения получаемого кадра составляло 3.5×3.5 градусов со значительным количеством объектов, что обеспечивало большой выбор звезд сравнения для дифференциальной фотометрии.

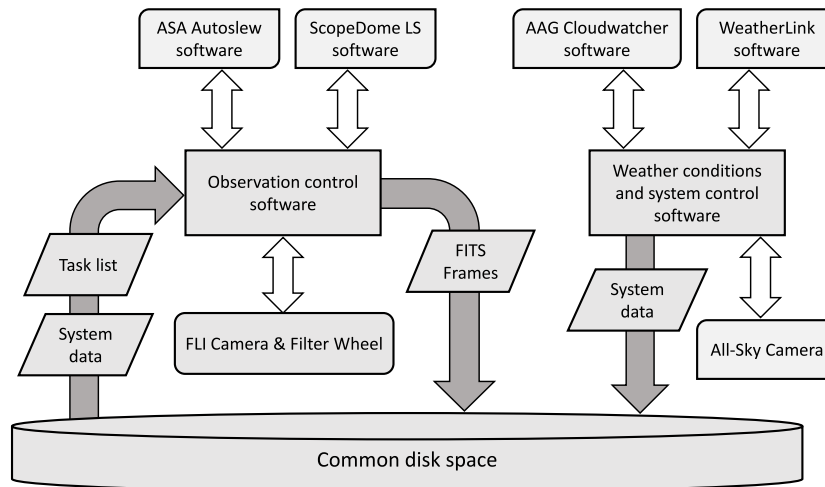


Рис. 1. Структурная схема роботизированной широкоугольной системы мониторинга околоземного пространства.

Наблюдательные данные прошли предварительную обработку, которая заключалась в вычитании усредненного кадра «bias», вычитании кадра «темнового» тока и делении кадров изображений на кадры плоского поля. Фотометрия звезд осуществлялась дифференциальным методом. Для LO Peg в качестве стандарта была выбрана звезда BD+22 4417 ($V = 9.04$), контрольной звездой служила BD+22 4420. Звезда-стандарт и контрольная звезда взяты по аналогии с работой [14].

Обработка кадров осуществлялась в программном пакете *MaxImDL*. Точность единичного измерения составляла примерно $0^m.009$. Для построения карт поверхностных температурных неоднородностей были использованы данные фотометрической переменности звезды в фильтре V . Всего было получено 792 оценки блеска за период в 34 суток с HJD 2457986 по HJD 2458020. После построения фазовой диаграммы (величина периода вращения была принята согласно [3]) данные измерений были усреднены для 35 фаз.

4. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ КАРТЫ

Методика восстановления карты поверхностных температурных неоднородностей подробно описана нами ранее [15]. Дополнительные сведения можно найти в работах [16, 17].

Каждая из индивидуальных кривых блеска (усредненная по 20 равно отстоящим фазам) была проанализирована с помощью программы *iPH*. Эта программа решает обратную задачу восстановления температурных неоднородностей звезды по кривой блеска в двухтемпературном приближении, при котором задаются температуры невозмущенной фотосферы и пятен. Описание и тесты программы были представлены в [15]. Как

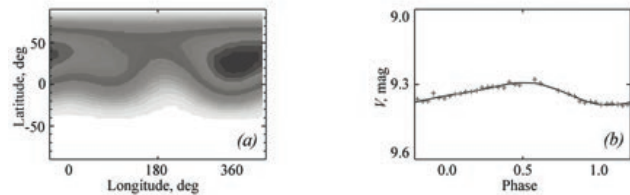


Рис. 2. Восстановленная карта температурных неоднородностей поверхности LO Peg по наблюдениям в Звенигороде. Более темные области соответствуют более высоким значениям факторов заполнения f . Здесь же приводятся наблюдаемая и теоретическая, построенная по восстановленной модели, кривые блеска.

и в [11], мы приняли, что температура фотосферы LO Peg составляет $T_{\text{eff}} = 4500$ K, а температура пятен ниже ее на 750 K [3, 18], что сопоставимо с оценкой температуры наиболее холодных участков изучаемой звезды, составляющей 3500 K. Для расчетов мы применяли данные из сетки моделей Куруца. Принятые данные совпадают с параметрами звезды, использованными нами в [3]. При моделировании поверхность звезды была разделена на элементарные площадки размером 6×6 градусов, для которых были определены факторы заполнения f , являющиеся неизвестными величинами в нашем анализе. На рис. 2 представлены результаты восстановления температурных неоднородностей на поверхности LO Peg для данных, полученных нами из наблюдений.

По построенным картам мы определили долготы, соответствующие максимальным значениям f . Как отмечалось нами ранее, для LO Peg в большинстве случаев имеются области концентрации пятен на двух долготах (одна из них является ярко выраженной, положение второй определяется

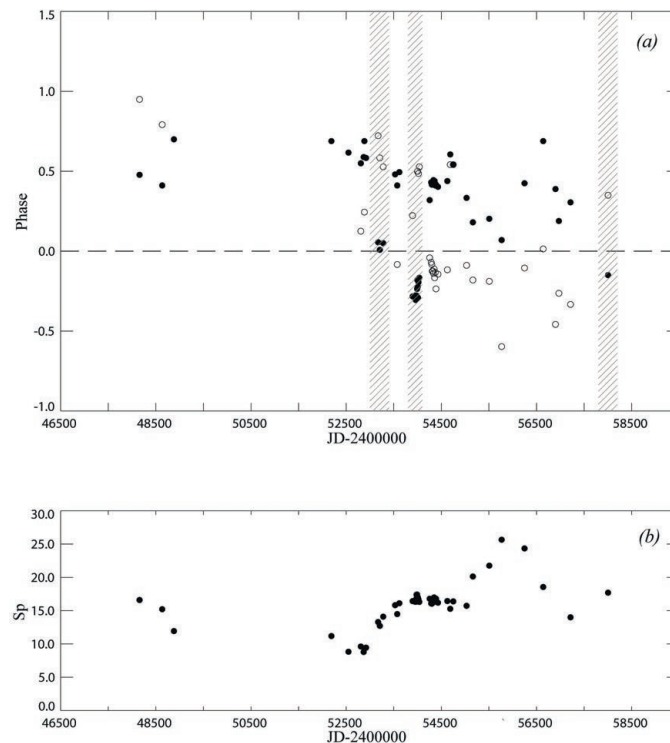


Рис. 3. Вверху (а): Фазы активных областей на поверхности LO Peg: темные кружки — более активная область, светлые — менее активная. Заштрихованные области соответствуют временным интервалам с измененным положением активных долгот. Внизу (б): Изменения запятненности поверхности LO Peg.

с большей погрешностью). Точность определений положений активных долгот в среднем составляет величину порядка 12–24 градусов на поверхности звезды (или 0.033–0.066 в единицах фазы). Более активная область проявляется на долготе 0.85 по фазе (306°). В 2017 году менее активная область практически не проявляется, ее положение на карте лишь намечается на долготе около 0.35 по фазе (126°). Этой фазе активности соответствует часть кривой блеска со сравнительно низкой скоростью возрастания блеска (пологая часть).

Данные, представленные на рис. 2, позволяют сделать вывод о переходе звезды в рассматриваемый интервал времени наблюдений на новую стадию активности. Форма кривой блеска претерпела изменения по сравнению с предыдущими, полученными в 2014–2015 годах. Отметим, что по виду кривая блеска 2017 года подобна тем, что были характерны для LO Peg ранее, в 2004 году (см., например, образцы сфазированных кривых блеска в [14]).

Кроме того, данные фотометрических наблюдений были использованы нами для определения доли площади поверхности звезды, покрытой пятнами, и уточнения длительности циклов долговременной переменности LO Peg. Подробный анализ положений активных областей на поверхности LO Peg представлен нами в работе [3]. Как и

добавленные ранее измерения [12], новые данные указывают на продолжающуюся эволюцию перемещения активных областей. Наши новые наблюдения могут свидетельствовать о произошедшем в 2016–2017 годах очередном явлении переключения положения активной долготы (флип-флоп). Подобные явления флип-флопа уже регистрировались ранее дважды (заштрихованные области на рис. 3).

По мере увеличения блеска звезды (см. рис. 4а) площадь поверхности звезды, покрытая пятнами, перестала уменьшаться и к настоящему времени достигла величины 17 % от площади ее полной видимой поверхности (рис. 3б). Приведенные данные об изменениях запятненности поверхности звезды могут указывать на наличие трех минимумов и на возможный цикл изменения площадей пятен порядка 7.1 лет (2600 суток).

5. ЦИКЛЫ АКТИВНОСТИ

Новые наблюдения LO Peg, выполненные в фильтре V, позволили провести уточнение величин циклов долговременной переменности звезды. Наши предыдущие оценки величин циклов ее активности были сделаны в работе [3]. После учета новых наблюдений 2015 года нами были отмечены изменения в форме спектра мощности [12]. В

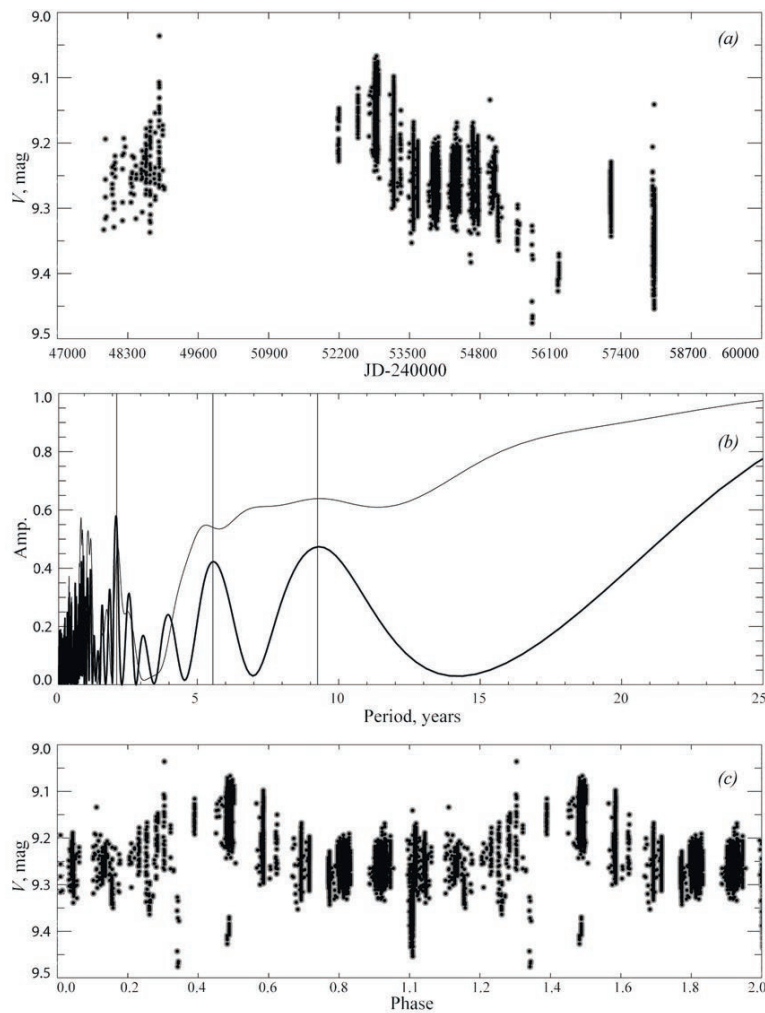


Рис. 4. Вверху: наблюдения звезды в фильтре V , средняя панель: амплитудный спектр мощности, толстая линия — по всему набору данных, тонкая — без наблюдений 2017 года. Можно отметить изменения в форме спектра мощности после учета новых наблюдений 2015 года. Циклы долговременной переменности в 2.2, 5.55 и 9.25 лет отмечены вертикальными линиями. Свертка имеющихся фотометрических наблюдений с периодом в 9.25 года представлена в нижней части рисунка.

области циклов долговременной переменности свыше 5 лет стали проявляться три цикла в 5.2, 7.1 и 9.4 лет.

Новые результаты фотометрии звезды в фильтре V представлены в верхней части рис. 4. В настоящее время рассматриваемый набор данных включает 14 799 единичных измерений. Построенный по ним амплитудный спектр мощности приведен на средней диаграмме рис. 4. Можно отметить значительные изменения в форме спектра мощности после учета новых наблюдений 2017 года. В области циклов долговременной переменности свыше 5 лет стали проявляться лишь два цикла в 5.55 и 9.25 лет (спектр мощности, построенным по данным из [12] представлен на этом рисунке тонкой линией). Свертка имеющихся фотометрических наблюдений с периодом в 9.25 года представлена в нижней части рис. 4.

Наблюдения в 2015 г. показали, что звезда вышла из своего состояния минимального блеска, почти вернувшись в свое достаточно стабильное состояние, как в 2005–2010 годах. Наши последние наблюдения свидетельствуют о том, что блеск звезды перестал возрастать, не достигнув уровня стабильного блеска, и начал опять уменьшаться.

6. СВЯЗЬ ПАРАМЕТРА ЗАПЯТНЕННОСТИ С ВРАЩЕНИЕМ, ВОЗРАСТОМ И ЧИСЛАМИ РОССБИ

Как и в наших предыдущих исследованиях [19, 20] мы провели сопоставление величины параметра запятненности LO Peg с результатами исследований других звезд поздних спектральных классов. Разработанная нами методика оценки параметра запятненности S (площади пятен на

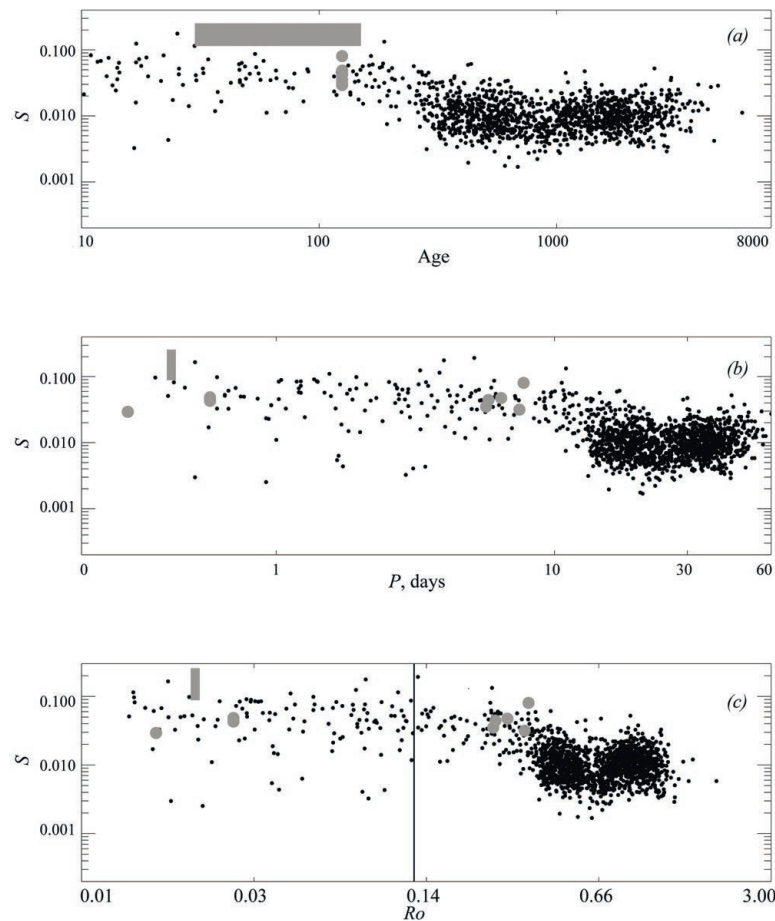


Рис. 5. (а) — диаграмма изменений параметра запятненности S от возраста звезд. (б) — диаграмма изменений параметра S с периодом вращения объектов. (с) — диаграмма изменений параметра S от числа Россби (линия соответствует параметру Ro (насыщения) = 0.13). На всех диаграммах крупные светлые кружки — данные для объектов из скопления Плеяды, точки — данные для 1570 объектов из [4]. Положение LO Peg отмечено горизонтальным прямоугольником.

поверхности активной звезды) [21] была применена ранее в [22] для анализа активности 1570 звезд-карликов спектрального класса M. Наш анализ был выполнен на основе литературных данных [23] о фотометрической переменности этих звезд и о параметрах их атмосфер, массах и периодах вращения.

В первую очередь мы провели изучение изменений активности M-карликов с возрастом этих объектов, который был вычислен по уравнениям гирохронологической зависимости с помощью процедуры, аналогичной рассмотренной в [24].

Кроме того, по наблюдениям миссии K2 (продолжение программы космического телескопа Кеплер) в [25] мы получили оценки параметра запятненности S для звезд скопления Плеяды (возраст скопления 125 млн. лет). Анализ был выполнен на основе данных о фотометрической переменности 759 подтвержденных членов скопления, для которых приводятся сведения о параметрах

их атмосфер, массах и периодах вращения. Для дальнейшего сопоставления из данных [25] мы выбрали 8 объектов с массами, соответствующими оценке массы для LO Peg ($0.75 M_{\odot}$).

Зависимость параметра запятненности рассматриваемых нами объектов S от их возраста t представлена на рис. 5 (верхняя панель). Положение LO Peg на этой диаграмме соответствует молодым активным звездам, причем по величине параметра запятненности исследуемая нами звезда превосходит величины S молодых карликов из [22].

Положение исследуемой нами звезды LO Peg отмечено горизонтальным прямоугольником (ее возраст оценивается в 30–150 млн. лет). С учетом того, что величина параметра S меняется в пределах от 9 до 27% от полной видимой поверхности звезды, в целом ее положение на диаграмме «запятненность — возраст» соответствует общему характеру зависимости. Однако среди M-карликов с возрастом менее 200 млн. лет LO Peg выде-

ляется большим значением S , что, несомненно, свидетельствует о большей активности объекта по сравнению со звездами сопоставимого возраста (для которых среднее значение параметра S составляет 0.04–0.07 и лишь для нескольких объектов превышает 0.1).

Представляет интерес сопоставление активности LO Peg не только с менее массивными карликами спектрального класса M, но и со звездами той же массы и сходного возраста из скопления Плеяды (объекты с массами в $0.75 M_{\odot}$ и возрастом в 125 млн. лет). Данные рис. 5 (вверху) указывают на то, что активность этих звезд ниже, чем у LO Peg, но сопоставима с активностью молодых M-карликов поля. Таким образом, следует признать, что LO Peg по праву относится к числу уникальных быстрых ротаторов и обладает повышенной активностью (запятненностью) среди сопоставимых по свойствам объектов.

Аналогичные выводы можно сделать при анализе диаграммы зависимости параметра запятненности от периода вращения звезды (рис. 4, средняя панель). Два быстровращающихся объекта из скопления Плеяды с массами в $0.75 M_{\odot}$ и с периодами вращения мене суток обладают меньшей активностью, чем LO Peg.

Один из основных выводов нашего анализа [22] получен при сопоставлении значений параметров S и чисел Россби для исследуемых звезд. Было показано, что диаграмма, характеризующая связь параметров S и Ro , повторяет классическую зависимость рентгеновской светимости активных звезд от числа Россби и что режим насыщения достигается при той же величине параметра Ro (насыщения) = 0.13. Вероятнее всего, объекты, числа Россби которых имеют величину больше, чем Ro (насыщения), не образуют единую последовательность. При найденном для LO Peg числе Россби $Ro = 0.019$ (см также в [4]), ее положение на диаграмме $S-Ro$ указывает на то, что она находится в области насыщения, а также, что активность звезды выше средней для менее массивных M-карликов и звезд с подобными массами и периодами вращения из Плеяд.

7. ВЫВОДЫ

В 2017 году с помощью роботизированной широкоугольной системы наблюдений в Звенигородской обсерватории ИНАСАН нами были проведены новые наблюдения ультрабыстрого ротатора спектрального класса K — звезды LO Peg. По кривым блеска были проведены восстановления температурных неоднородностей на поверхности LO Peg и определены долготы, соответствующие положению активных областей. Полученные измерения указывают на продолжающуюся эволюцию

перемещения активных областей и явление переключения в 2017 году положений активных долгот. По нашей оценке площадь поверхности звезды, покрытая пятнами, перестала уменьшаться и к настоящему времени достигла 17% от площади ее полной видимой поверхности. Новые наблюдения звезды, выполненные в фильтре V , позволили провести уточнение величин циклов долговременной переменности LO Peg. Отмечены значительные изменения в форме спектра мощности после учета новых наблюдений 2017 года. В области циклов долговременной переменности свыше 5 лет стали проявляться лишь два цикла в 5.55 и 9.25 лет.

На основе анализа диаграмм, иллюстрирующих связь параметра запятненности с вращением, возрастом и числами Россби для LO Peg, 1570 звезд-карликов спектрального класса M и восьми объектов из скопления Плеяды с массами, соответствующими оценке массы для LO Peg ($0.75 M_{\odot}$), сделано заключение о повышенной активности (запятненности) LO Peg по сравнению с сопоставимыми по свойствам объектами.

БЛАГОДАРНОСТИ

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения проекта по федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (идентификатор RFMEFI60414X0099).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. López-Santiago, D. Montes, I. Crespo-Chacón, and M. J. Fernández-Figueroa, *Astrophys. J.* **643**, 1160 (2006).
2. B. Zuckerman, I. Song, and M. S. Bessell, *Astrophys. J.* **613**, L65 (2004).
3. S. Karmakar, J. C. Pandey, I. S. Savanov, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **459**, 3112 (2016).
4. V. See, M. Jardine, A. A. Vidotto, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **466**, 1542 (2017).
5. J. C. Pandey, K. P. Singh, S. A. Drake, and R. Sagar, *Astron. J.* **130**, 1231 (2005).
6. R. D. Jeffries, P. B. Byrne, J. G. Doyle, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **270**, 153 (1994).
7. H. A. Dal and G. Tas, *Information Bulletin on Variable Stars* **5390** (2003).
8. R. M. Robb, *Information Bulletin on Variable Stars* **4192** (1995).
9. T. A. Lister, A. Collier Cameron, and J. Bartus, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **307**, 685 (1999).
10. J. R. Barnes, A. Collier Cameron, T. A. Lister, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **356**, 1501 (2005).

11. N. Piluso, A. F. Lanza, I. Pagano, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **387**, 237 (2008).
12. I. S. Savanov, V. I. Puzin, E. S. Dmitrienko, et al., *Acta Astronomica* **66**, 381 (2016).
13. V. Y. Terebizh, *Astron. J.* **152**, 121 (2016).
14. G. Taš, *Astronomische Nachrichten* **332**, 57 (2011).
15. I. S. Savanov and K. G. Strassmeier, *Astronomische Nachrichten* **329**, 364 (2008).
16. S. P. Järvinen, H. Korhonen, S. V. Berdyugina, et al., *Astron. and Astrophys.* **488**, 1047 (2008).
17. I. S. Savanov, *Astronomy Reports* **54**, 1125 (2010).
18. I. S. Savanov and E. S. Dmitrienko, *Astronomy Reports* **55**, 437 (2011).
19. I. S. Savanov, N. G. Gladilina, and E. S. Dmitrienko, *Astronomy Reports* **60**, 1006 (2016).
20. E. S. Dmitrienko and I. S. Savanov, *Astronomy Reports* **61**, 871 (2017).
21. I. S. Savanov, *Astronomy Reports* **55**, 341 (2011).
22. E. S. Dmitrienko and I. S. Savanov, *Astronomy Reports* **61**, 122 (2017).
23. A. McQuillan, S. Aigrain, and T. Mazeh, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **432**, 1203 (2013).
24. T. Reinhold and L. Gizon, *Astron. and Astrophys.* **583**, A65 (2015).
25. I. S. Savanov and E. S. Dmitrienko, *Astronomy Reports* **61**, 996 (2017).

Photometric Observations of LO Peg in 2017

I. S. Savanov, S. A. Naroenkov, M. A. Nalivkin, V. B. Puzin, and E. S. Dmitrienko

In order to study the state of gas in galaxies, diagrams of the relation of optical emission line fluxes are used allowing one to separate main ionization sources: young stars in the H II regions, active galactic nuclei, and shock waves. In the intermediate cases, for example, when the contributions of radiation from OB stars and from shock waves mix, identification becomes uncertain, and the issue remains unresolved on what determines the observed state of the diffuse ionized gas (DIG) including the one on large distances from the galactic plane. Adding of an extra parameter—the gas velocity dispersion in the line-of-sight—to classical diagnostic diagrams helps to find a solution. In the present paper, we analyze the observed data for several nearby galaxies: for UGC 10043 with the galactic wind, for the dwarf galaxies VII Zw 403 and Mrk 35 with star formation, for the galaxy Arp 212 with a polar ring. The data on the velocity dispersion are obtained at the 6-m SAO RAS telescope with the Fabry-Perot scanning interferometer, the information on the relation of main emission-line fluxes—from the published results of the integral-field spectroscopy (the CALIFA survey and the MPFS spectrograph). A positive correlation between the radial velocity dispersion and the contribution of shock excitation to gas ionization are observed. In particular, in studying Arp 212, our approach allowed us to confirm the assumption on a direct collision of gaseous clouds on the inclined orbits with the main disk of the galaxy.

Keywords: stars: magnetic fields — starspots — stars: individual: LO Peg — methods: high angular resolution