

УДК 524.3-17+524.3-56

АКТИВНОСТЬ ПЯТИ МОЛОДЫХ КАРЛИКОВ С ПЛАНЕТНЫМИ СИСТЕМАМИ

© 2019 г. И. С. Саванов^{1*}, Е. С. Дмитриенко²

¹Институт астрономии РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

Поступила в редакцию 05.04.2018 г.; после доработки 25.12.2018 г.; принята к публикации 27.12.2018 г.

Проведено исследование активности молодых звезд, обладающих планетными системами: K2-231, EPIC 219 388 192, K2-136, Kepler-66 и Kepler-67. Возраст этих объектов установлен по их принадлежности к скоплениям. В числе изученных — K2-136, вторая планетная система, обнаруженная в скоплении Гиады. На момент открытия это первая мультипланетная система в молодых скоплениях. Система обладает тремя планетами, одна из которых, наименьшая по размеру и имеющая наименьший период, принадлежит к числу планет земного типа. Была прослежена непрерывная эволюция активных областей на поверхности K2-231, EPIC 219 388 192, K2-136, Kepler-66 и Kepler-67 в течение 70 сут. Представлены заключения о характере изменений блеска изучаемых звезд, найдены или уточнены периоды их вращения. Периоды вращения объектов лежат в интервале 9–15 сут. Для Kepler-66 и Kepler-67 получены оценки параметра дифференциального вращения $\Delta\Omega$, которые составили 0.04–0.05 и 0.04 рад/сут соответственно. Построены карты температурных неоднородностей на поверхности пяти изученных звезд и сделано заключение о характере эволюции изменений положений активных областей. Определены величины параметра S — площади запятненной поверхности звезд, которая для наших объектов находится в пределах 0.7–4.5% от площади их полной видимой поверхности. Было изучено положение объектов на диаграммах “ S — возраст”, “ S — период вращения” и “ S — числа Россби”, сделан вывод об их соответствии общему характеру зависимостей, установленных нами ранее для 1570 M-карликов.

DOI: 10.1134/S0004629919060033

1. ВВЕДЕНИЕ

Наблюдательный материал из архива наблюдений космической миссии Кеплер и ее продолжения (K2) сделал возможным высокоточные фотометрические исследования активности звезд с планетными системами в скоплениях с возрастом до 1–3 млрд. лет. В самых молодых системах физические и химические свойства формирующихся планет могут отражать влияние и продолжающегося процесса выпадения планетоземалей, и магнитной активности центральной молодой звезды. Обзор многочисленных исследований планетных систем в скоплениях различного возраста можно найти, например, в [1, табл. 1] и [2, табл. A1].

Ранее нами в работе [3] были представлены результаты изучения планеты типа Нептун в системе M-карлика EPIC 210 490 365 (K2-25) в скоплении Гиады (650–800 млн. лет). С целью дальнейшего исследования молодых звезд с планетными системами в [4] нами были изучены два

объекта: EPIC 211 901 114 из скопления Ясли и EPIC 205 117 205 (K2-33), входящий в подгруппу Upper Scorpius ассоциации Sco-Cen.

Результаты нашего анализа активности молодого объекта EPIC 247 267 267 из ассоциации Cas-Tau с возрастом порядка 46 ± 8 млн. лет приведены в [5]. Эта система (вместе с K2-33) является одной из наиболее молодых планетных систем, обнаруженных методом транзитов.

В настоящем исследовании мы рассмотрим свойства активности еще пяти объектов с планетными системами из скоплений Ruprecht 147, NGC 6811 и Гиады. Среди них недавно открытая звезда в Гиадах с уникальной системой из трех планет.

2. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ИХ АНАЛИЗ

2.1. Системы K2-231 и EPIC 219 388 192 из скопления Ruprecht 147

Наблюдения скопления Ruprecht 147 были выполнены в ходе 7-й кампании миссии K2. Скопле-

*E-mail: isavanov@inasan.rssi.ru

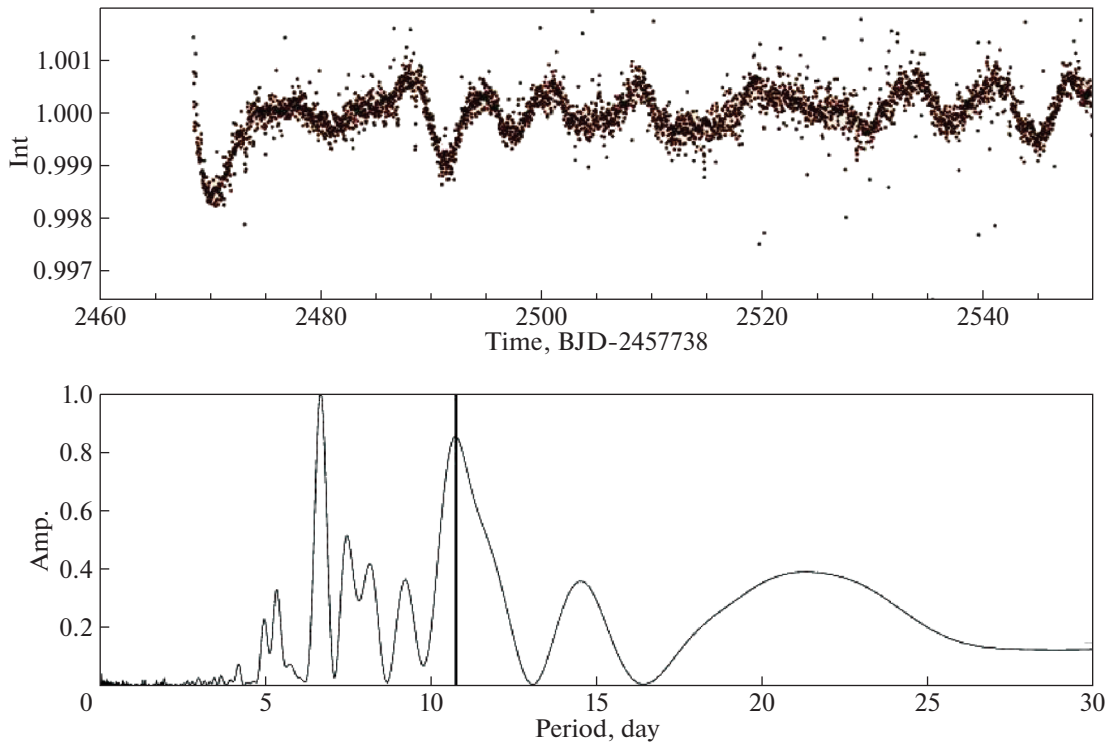


Рис. 1. Кривая блеска K2-231 (вверху) и нормированный спектр мощности, построенный по этим данным (внизу). Сплошная вертикальная линия соответствует величине периода $P = 10.75^d$.

ние расположено на расстоянии 295 пк от Земли и имеет возраст 3 млрд. лет [2]. В [2] были представлены результаты обнаружения и изучения системы K2-231 (EPIC 219 800 881), в состав которой входит планета типа Нептун, обращающаяся вокруг звезды, подобной по параметрам нашему Солнцу. По оценке [2] масса и радиус K2-231 составляют 1.01 и 0.95 солнечных величин соответственно. Кривая блеска объекта представлена на верхней части рис. 1. Исходные данные были взяты из каталога MAST, их обработка была аналогична выполненной нами ранее для карликов поздних спектральных классов и включала снятие трендов, нормировку к среднему значению и исключению дефектов на кривой блеска [6, 7]. Как и в [2], мы учли влияние звезды, расположенной на $\sim 4''$ южнее K2-231. Согласно [2] ее вклад в суммарный поток составляет $\sim 1/40$. Рассчитанный спектр мощности (рис. 1, нижняя панель) указывает на нестабильный характер изменений блеска K2-231. Несмотря на то что в спектре мощности для этого объекта максимальное значение наблюдается для пика, соответствующего величине 6.67^d , по нашему мнению, на реальный период вращения (10.75^d) указывает пик с широкими крыльями высотой в 0.8 от максимального. Наличие пика для половинного значения величины периода вращения принято объяснять наличием пятен на противоположных

частях поверхности звезды [2]. Вследствие искаженной формы пика точность определения периода вращения ниже, чем может быть оценена по полуширинам отдельно стоящих пиков, она составляет $\sim 0.5-0.6^d$.

Наблюдательный материал для K2-231 был разделен на 7 сетов, каждый из которых последовательно охватывал один период вращения звезды. Для всех объектов нашего исследования (см. ниже) индивидуальные кривые блеска были проанализированы нами с помощью программы iPH [8]. Эта программа решает обратную задачу восстановления температурных неоднородностей звезды по кривой блеска в двухтемпературном приближении. Для каждой площадки размером $6^\circ \times 6^\circ$ на поверхности звезды были определены факторы заполнения f (доля поверхности площадки, занимаемая пятнами). Полное описание методики нашего анализа было дано ранее, например, в [6-8].

Согласно [2] температура фотосферы звезды K2-231 была принята равной 5695 K, температуру пятен мы приняли равной 4000 K (см. эмпирическую зависимость в [9]). В расчетах мы использовали данные сетки моделей PHOENIX. Построенные карты приведены на рис. 2. Более темные области на рис. 2 соответствуют большим значениям f . На поверхностных картах (кроме, возможно, карты 4) наблюдаются концентрации пятен

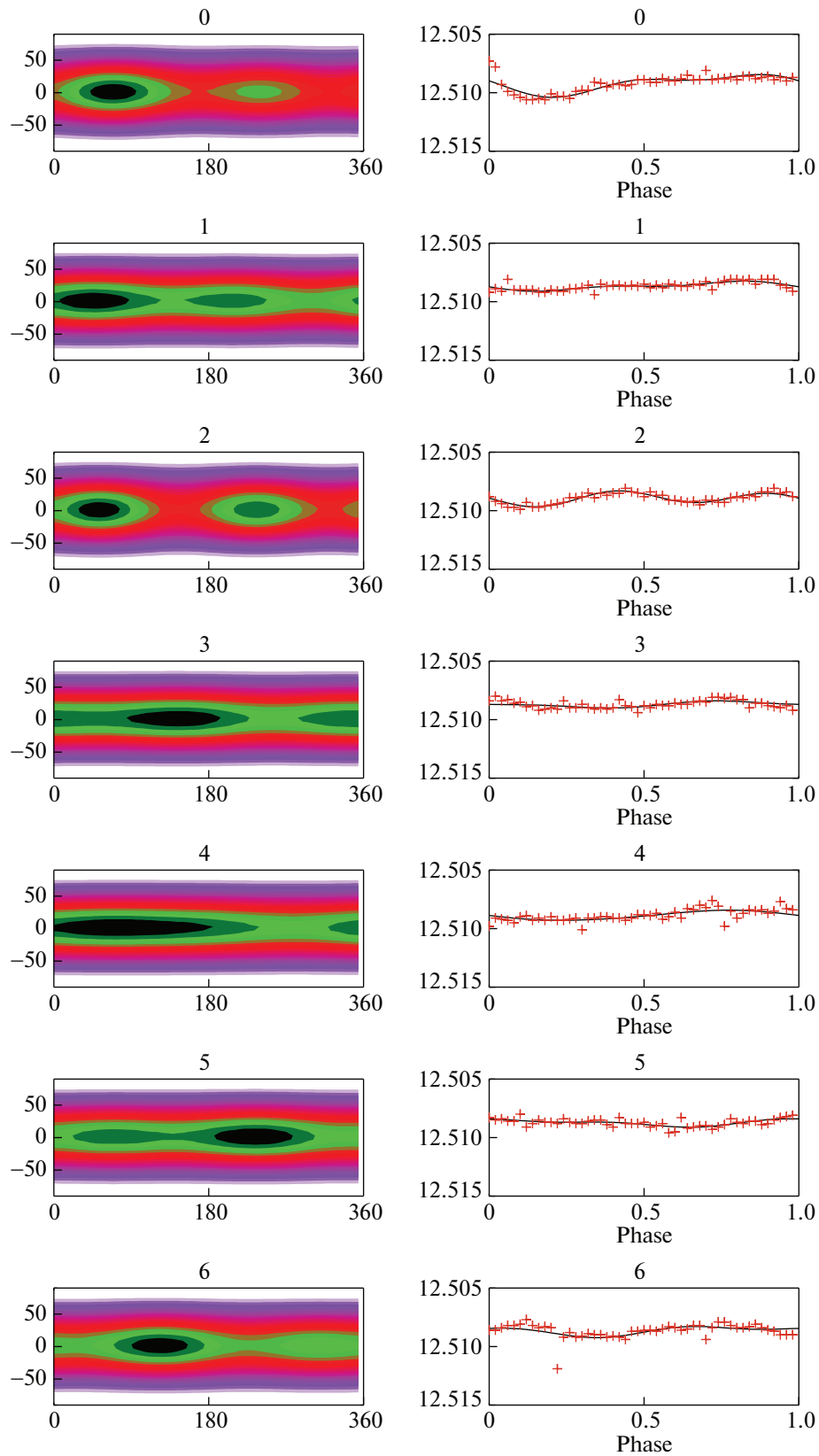


Рис. 2. Восстановленные карты температурных неоднородностей на поверхности K2-231 (слева). По оси абсцисс отложена долгота в градусах, по оси ординат — широта в градусах, отсчитывается от экватора на север. Широта точек, лежащих в северном полушарии, положительна, а в южном — отрицательна. Карты представлены в единой шкале, более темные области соответствуют более высоким значениям факторов заполнения f . Справа приведены наблюдаемые кривые блеска (крестики) и теоретические (сплошные линии), построенные по восстановленной модели. Цифры над каждой панелью обозначают номер сети наблюдений.

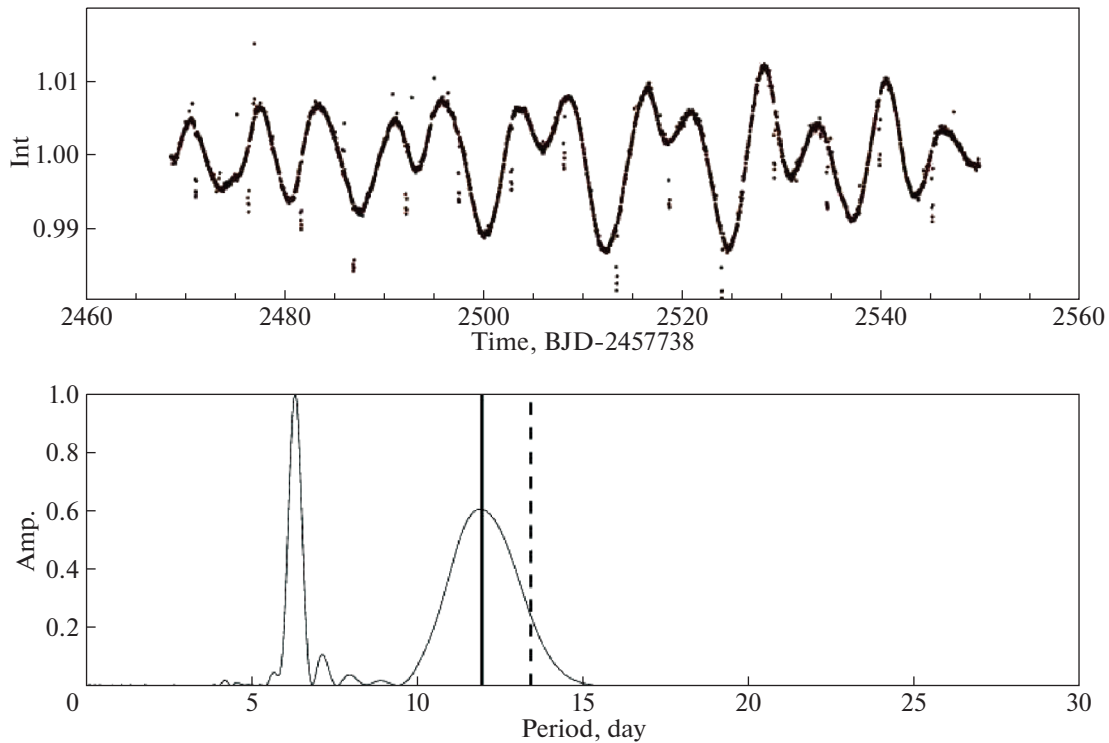


Рис. 3. То же, что на рис. 1, для EPIC 219 388 192. Сплошная вертикальная линия соответствует величине периода $P = 11.9 \pm 1.8^d$, штриховая линия — удвоенному значению периода 6.28^d .

на двух долготах, на картах 3–4 пятна образуют протяженные области. Мы не зарегистрировали систематических изменений положений пятен. При этом в случае K2-231 площадь полной запятненной поверхности S в среднем составляла 0.9% от полной видимой поверхности звезды.

Даже с учетом того, что мы приняли оценку величины периода вращения, равную 10.75^d , а не 6.67^d (пик максимальной высоты на спектре мощности), мы можем заключить, что звезда вращается быстрее, чем следовало бы ожидать для звезды солнечного типа в скоплении с возрастом в 3 млрд. лет. Отметим, что с аналогичной проблемой столкнулись авторы [10] при исследовании системы EPIC 219 388 192, также принадлежащей скоплению и для которой также было зарегистрировано ослабление блеска из-за транзитов. Однако в этом случае транзиты были вызваны не прохождением планеты перед диском звезды, а прохождением коричневого карлика. Как и K2-231, согласно [10] звезда системы EPIC 219 388 192 является солнечным близнецом с массой 1.01 ± 0.004 и радиусом 1.01 ± 0.03 солнечных единиц соответственно. Масса коричневого карлика равна 36.84 масс Юпитера, радиус — 0.937 радиуса Юпитера.

Несмотря на то что систему EPIC 219 388 192 следует считать двойной (второй компонент системы коричневый карлик), а не планетной, мы

провели независимый анализ данных для главного компонента с целью изучения его активности. Этот анализ продемонстрировал трудности и проблемы, возникающие в ходе изучения параметров активности систем по данным наблюдений K2.

На верхней панели рис. 3 представлена кривая блеска EPIC 219 388 192, а на нижней панели — рассчитанный для этих наблюдений спектр мощности. Кривая блеска обладает характерной вращательной модуляцией, присущей звездам с пятнами на поверхности. В спектре мощности для этого объекта максимальное значение достигается для пика, соответствующего величине в 6.28 ± 0.20^d . Как и в случае K2-231, имеется пик с широкими крыльями высотой в 0.6 от максимального, соответствующий величине периода $P = 11.9 \pm 1.8^d$ (сплошная вертикальная линия). Эта величина P значительно отличается от удвоенного периода вращения 6.28^d (штриховая линия). Авторы [10] пришли к заключению, что величиной истинного периода вращения является $P = 12.6^d$ (удвоение периода происходит вследствие наличия пятен на противоположных частях поверхности звезды). Причина появления пика $P = 11.9^d$ с широкими крыльями остается невыясненной. Ситуация усложняется тем, что если следовать оценке P из [10], то из соотношения для гирохронологической зависимости оценка возраста EPIC 219 388 192

составляет 1.12 ± 0.62 млрд. лет и существенно отличается от принятого для скопления возраста в 3 млрд. лет. Авторы [10] высказывают предположение о наличии внешних механизмов, влияющих на замедление вращения EPIC 219 388 192. Аналогичные заключения могут быть сделаны и в случае анализа звезды K2-231. Очевидно, что вопрос о вращении объектов скопления требует дальнейшего изучения, возможно, такой анализ вскоре появится в литературе. Например, автор краткого сообщения [11] указал, что согласно еще не опубликованным измерениям периодов вращения карликов спектрального класса K в скоплении Ruprecht 147 по данным архива K2, они вращаются быстрее, чем следовало бы ожидать, исходя из оценок эмпирических зависимостей. Однако остается неясным, почему вопрос об отсутствии замедления вращения установлен только для звезд скопления Ruprecht 147.

Принимая, как и в [10], для EPIC 219 388 192 период вращения $P = 12.6^d$, мы построили карты поверхностных температурных неоднородностей для этой звезды солнечного типа (рис. 4). Температура фотосферы EPIC 219 388 192 была принята равной 5850 K, а температура пятен — 4000 K. Хорошо заметна концентрация пятен на двух долготах, отстоящих друг от друга примерно на 180° . Положения пятен на протяжении 6 периодов вращения звезды оставались примерно постоянными, что, вероятно, является подтверждением правильности выбора величины периода вращения звезды. Изменения одного из пятен (активной области) на долготе $\sim 180^\circ$ были малы, второе пятно на долготе $\sim 360^\circ$, вначале ослабевало, а начиная с сета 3 стало усиливаться. Площадь полной запятненной поверхности S по нашей оценке составляет в среднем 1.8% от полной видимой поверхности звезды.

Наш анализ показал, что хотя параметры EPIC 219 388 192 соответствуют солнечным (кроме возраста, если оценивать его по возрасту скопления в 3 млрд. лет), звезда вращается быстрее и ее запятненность выше, чем у Солнца. Аналогичный вывод можно сделать и в случае K2-231, однако запятненность этого объекта не столь высока.

2.2. Система K2-136 из скопления Гиады

Результаты обнаружения и исследования планетной системы K2-136 (EPIC 247 589 423) в скоплении Гиады были представлены в трех независимых публикациях [12–14]. Это вторая планетная система в этом скоплении, одном из наиболее изученных.

Ранее в Гиадах авторами [15] была открыта планета типа Нептун в системе M4.5-карлика

EPIC 210 490 365 (K2-25). Эффективная температура звезды составляет 3180 ± 60 K, масса и радиус — 0.294 и 0.295 солнечных величин соответственно. Результаты анализа активности K2-25 представлены нами в [3]. Была прослежена непрерывная эволюция активных областей на поверхности K2-25 в течение 70 дней, при этом характер изменений блеска звезды был достаточно стабилен. Период вращения K2-25 равен 1.878^d . Для 37 сетов наблюдений мы построили карты температурных неоднородностей поверхности K2-25. Площадь S полной запятненной поверхности звезды в среднем составляет 2.6% от ее полной видимой поверхности. Был установлен дифференциальный характер вращения звезды (параметр $\Delta\Omega$ (разность угловых скоростей вращения на экваторе и на полюсе) равен 0.0071 ± 0.002 рад/сут).

На момент открытия система K2-136 являлась уникальной по многим параметрам. Прежде всего, это первая мультипланетная система, открытая в молодых скоплениях. Система обладает тремя планетами. Наименьшая по размеру и имеющая наименьший период обращения планета принадлежит к числу планет земного типа. Это первая планета земного типа, обнаруженная в молодых скоплениях. Две другие планеты системы — супер-Земля и мини-Нептун.

Аналогично тому, как было выполнено для K2-25 в [3] и звезд из скопления Ruprecht 147, мы провели анализ кривой блеска центральной звезды K2-136 (в [14] упоминается еще об одном компоненте системы — звезде M7-8 класса, отстоящей от K2-136 примерно на 40 а.е.). По редуцированным по нашей обычной методике фотометрическим данным из каталога MAST были рассчитаны спектры мощности (рис. 5).

По построенным картам мы определили долготы, соответствующие максимальным значениям f (наиболее темные области на рис. 6). На всех поверхностных картах имеются концентрации пятен на двух долготах, их значения мы регистрировали как две независимые активные области (долготы).

В спектре мощности для K2-136 имеется основной пик с широкими крыльями, указывающий на величину $P = 15.16 \pm 0.90^d$, а также пик, соответствующий половинному фотометрическому периоду вращения звезды, что свидетельствует о присутствии на ее поверхности двух активных областей, отстоящих на 180° .

Авторы [12] в своем исследовании приводят совпадающий с нашим результат независимого определения периода вращения звезды, 15.0 ± 1.0^d . В [13] приведены три оценки: 13.5 ± 0.7^d , 15.1 ± 1.3^d и 13.6 ± 2.2^d . Авторы [14] отмечают, что использование автокорреляционной функции для

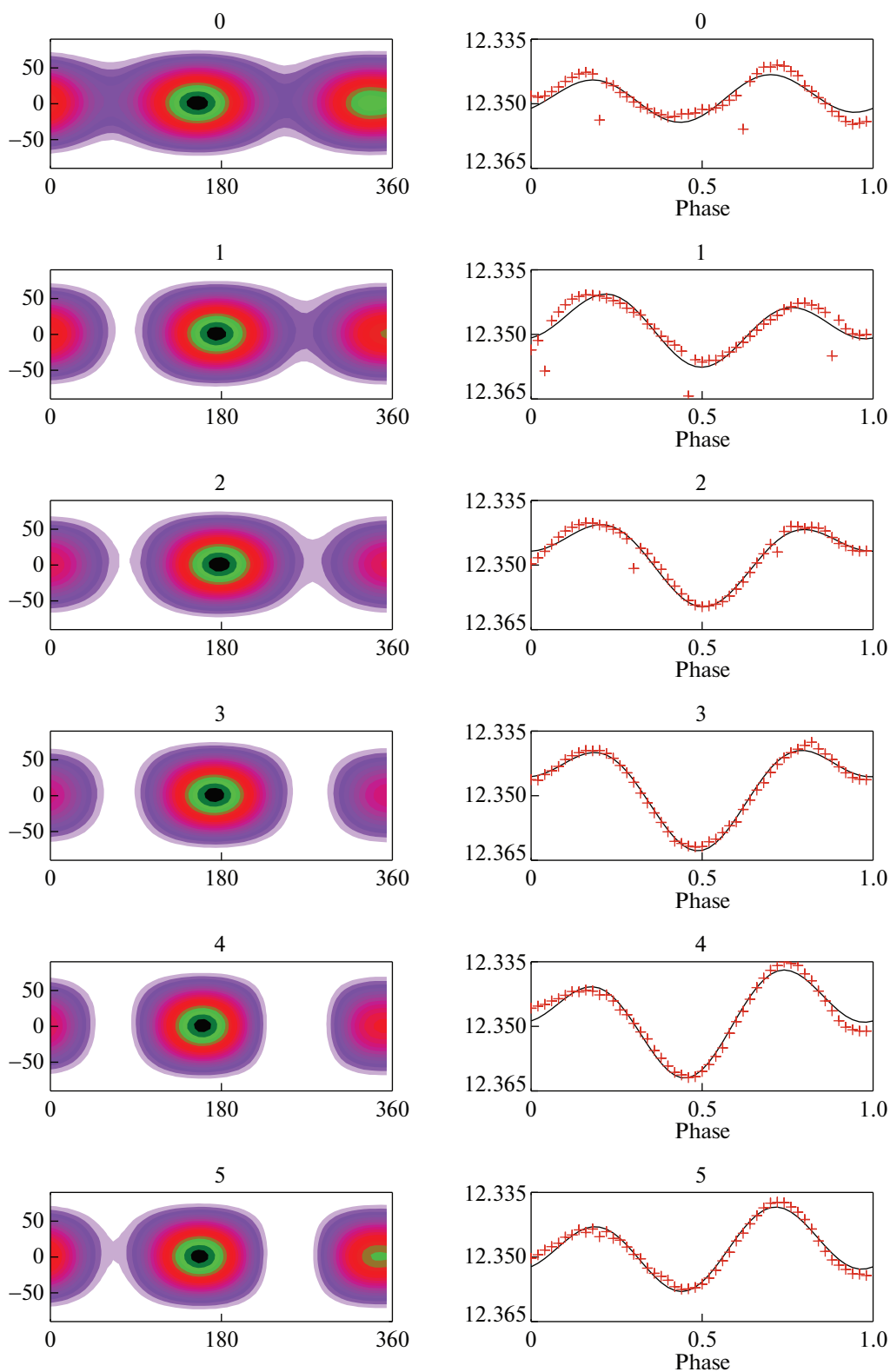


Рис. 4. То же, что на рис. 2, для EPIC 219 388 192.

вычисления периодичности изменений блеска дает меньшую величину, $P = 13.8 \pm 1.0^d$ (см. аналогичное второе определение $P = 13.6 \pm 2.2^d$ в [13]).

По оценке [12] температура фотосферы K2-136 составляет 4499 ± 50 K, в [13, 14] приведены более низкие величины, 4359 K и 4360 K соответственно.

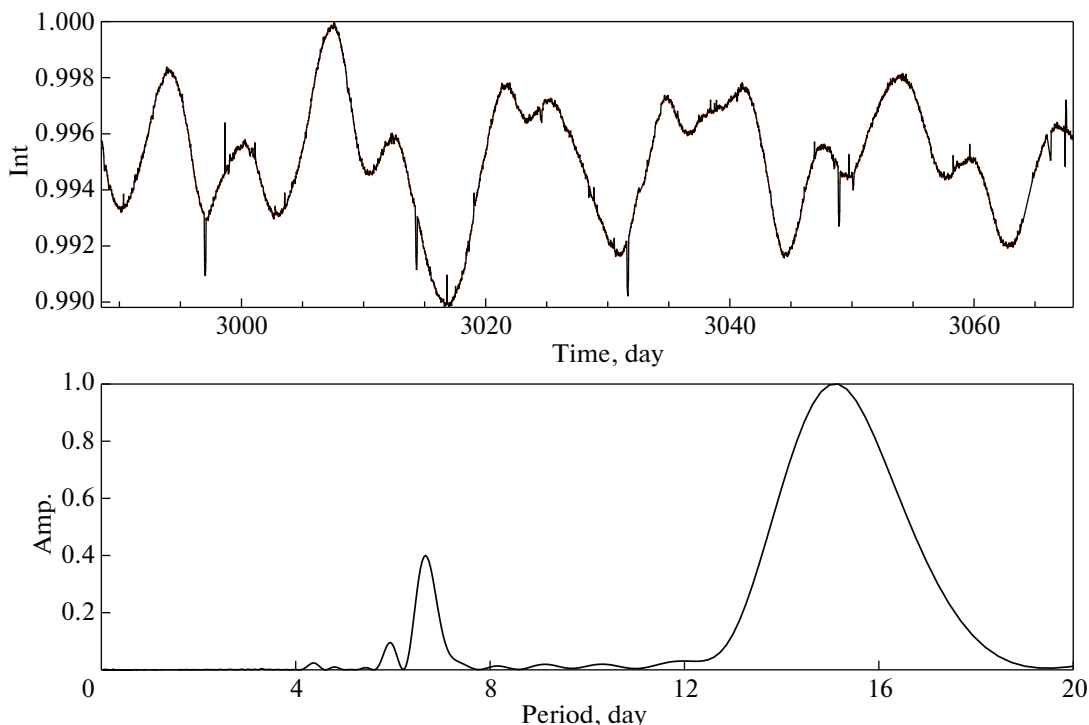


Рис. 5. То же, что на рис. 1, для K2-136.

В наших расчетах мы приняли $T_{\text{эф}} = 4360$ К, а температуру пятен — 3750 К. Заметна концентрация пятен на двух долготах. Одно из пятен (областей) является более активным по сравнению с другим, оно слабо меняло свое положение на поверхности звезды по долготе от $10-360^\circ$ до 220° . Второе пятно (долготы от 200° до 90°) претерпело ослабление вплоть до исчезновения (сет 2), а затем стало восстанавливать свою активность. Площадь S полной запятненной поверхности K2-136 по нашей оценке составляет в среднем 0.7% от полной видимой поверхности звезды.

2.3. Системы Kepler-66 и Kepler-67 из скопления NGC 6811

Системы Kepler-66 и Kepler-67 принадлежат скоплению NGC 6811 [16]. Наблюдения этих объектов проводились в ходе выполнения основной миссии телескопа Кеплер и содержат более обширный наблюдательный материал. Основные сведения о наблюдениях скопления (в том числе о 71 объекте, у которых исследовали их параметры вращения), можно найти в [16]. Возраст скопления оценивается равным ~ 1 млрд. лет.

На верхней части рис. 7 и 8 представлены кривые блеска исследуемых объектов. Для дальнейшего анализа мы отобрали в совокупности 64 789 и 50 842 единичных измерений блеска для Kepler-66 и Kepler-67 соответственно. Спектры мощности

приведены на нижних панелях диаграмм. Они указывают на достаточно сложный характер изменений блеска этих объектов.

В спектре мощности для Kepler-66 имеется доминирующий пик, соответствующий величине в 10.46 ± 0.08^d , а для Kepler-67 — раздвоенный пик с максимальной величиной 10.48 ± 0.10^d . При этом на обоих спектрах мощности имеются пики в диапазонах, соответствующих половинному фотометрическому периоду вращения соответствующей звезды, что указывает на присутствие на их поверхностях двух активных областей на противоположных полусферах. Для Kepler-66 авторы [16] приводят совпадающий с нашим результат независимого определения периода вращения, 10.29 ± 0.27^d .

Наличие нескольких пиков в спектре мощности можно интерпретировать как указание на присутствие пятен на различных широтах поверхности звезды, обладающей дифференциальным вращением. В таком случае мы можем получить оценки параметра дифференциального вращения $\Delta\Omega$, которые составили 0.04–0.05 рад/сут для Kepler-66 и 0.04 рад/сут для Kepler-67. Используется общепринятое соотношение $\Delta\Omega = 2\pi(1/P_1 - 1/P_2)$, где P_1 и P_2 периоды, соответствующие рассматриваемым пикам (в качестве P_2 был взят пик второй по амплитуде).

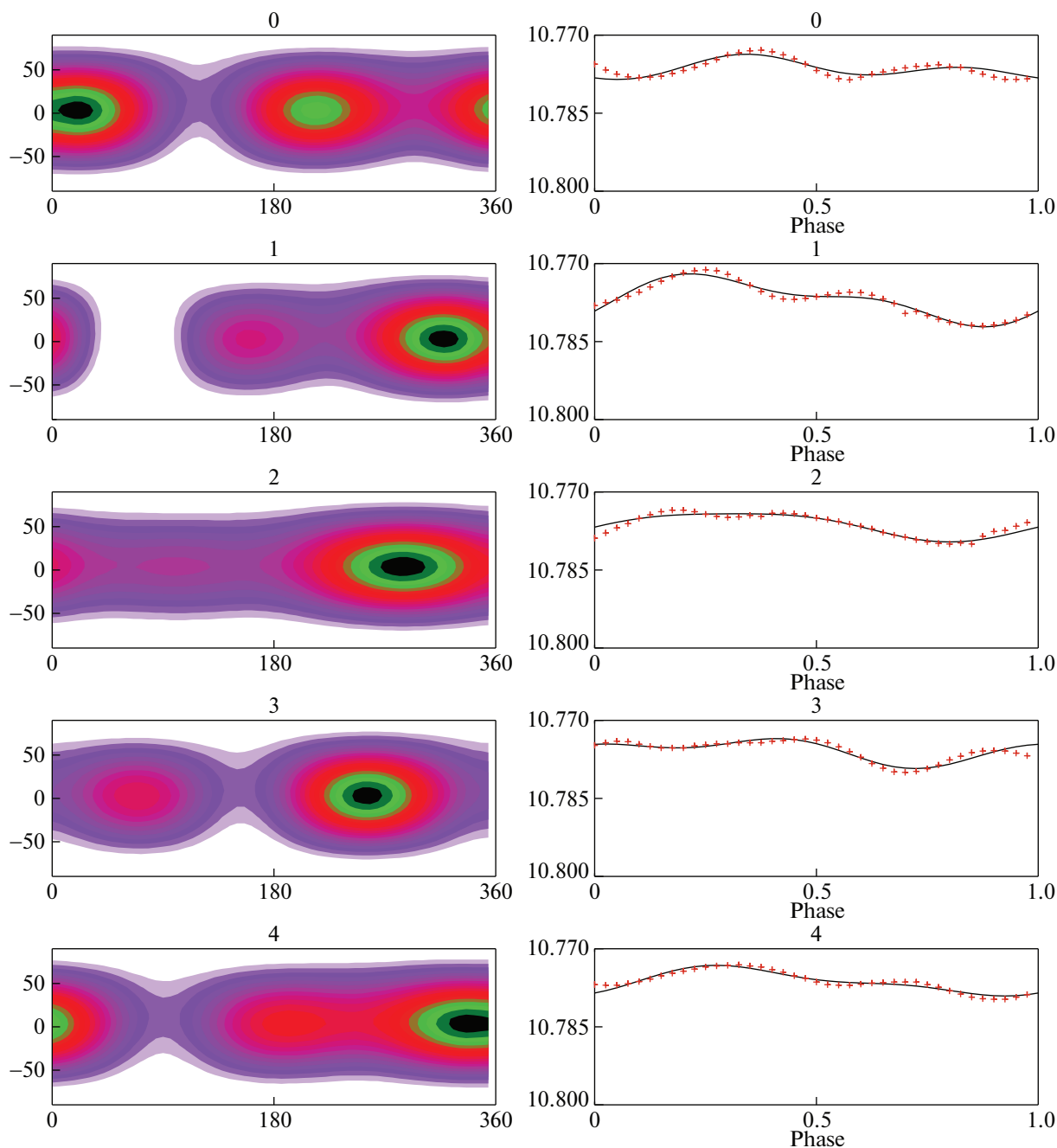


Рис. 6. То же, что на рис. 2, для K2-136.

Весь наблюдательный материал для Kepler-66 и Kepler-67 был разделен на 139 и 109 сетов соответственно, каждый из которых последовательно охватывал один период вращения звезды. Согласно данным каталога MAST температуры фотосфер звезд Kepler-66 и Kepler-67 были приняты равными 5722 К и 5184 К соответственно. Анализ положений активных областей на восстановленных картах указал на достаточно сложные перемещения этих областей по поверхности объектов и привел нас

к выводам о существовании как систематических перемещений активных областей, так и о наличии переключения положения более активной области (флип-флопа). На всех поверхностных картах имеются концентрации пятен на двух долготах, их значения мы регистрировали как две независимые активные области (долготы). Было установлено, что площади областей различаются между собой. В качестве примера на рис. 9 приведены основные сведения, характеризующие эволюцию активных областей Kepler-67.

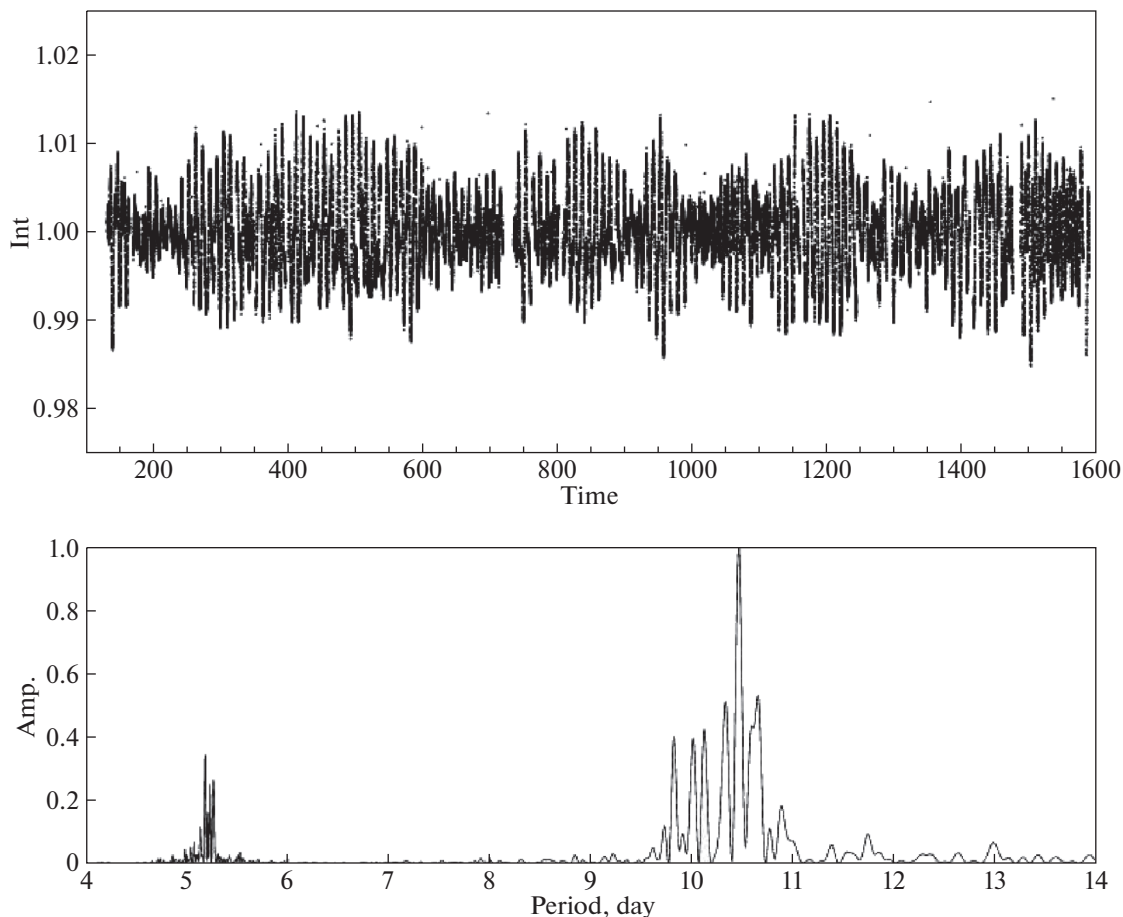


Рис. 7. То же, что на рис. 1, для Kepler-66.

Перемещение более активной области (заполненные кружки на нижней панели рис. 9) может указывать на возможные циклические изменения ее положения с величиной порядка 700^d . В интервале времени $850\text{--}900^d$, вероятно, произошло переключение положения активных долгот (флип-флоп).

Площади S поверхностей Kepler-66 и Kepler-67, занимаемые пятнами, достаточно велики для звезд солнечного типа и составляют $\sim 2\%$ от их полной видимой поверхности.

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

Аналогично тому, как разработанная нами в [17] методика оценки параметра запятненности S была применена в [18] для анализа активности 1570 звезд — карликов спектрального класса M на основе опубликованных данных [19], в настоящей работе мы выполнили определения параметра S для 34 030 объектов — звезд главной последовательности [20] с $T_{\text{эф}} < 6500$ K и периодами вращения P от 0.20 до 70^d .

Определения S , установленные по величинам R_{var} (амплитуды переменности блеска объектов [20, табл. 4]), мы рассматриваем в качестве индикаторов активности. Возраст для 18 140 объектов был оценен по уравнениям гирохронологической зависимости [21].

Диаграмма, связывающая запятненность объектов S и их возраст t , представлена на рис. 10 (верхняя панель). Свойства групп объектов на этой диаграмме были обсуждены нами в [18]. На рис. 10 также приведены данные об исследованных нами ранее звездах, обладающих планетными системами [3–5]. На диаграмме положения объектов настоящего исследования представлены ромбами. Общее согласие между данными для параметра запятненности объектов, достоверно входящих в скопления с известным возрастом, и объектов из [20], возраст которых найден по гирохронологической зависимости, указывает на достаточную надежность ее калибровки.

На диаграмме зависимости параметра запятненности от периода вращения звезды P (рис. 10, средняя панель) положения для 5 исследуемых

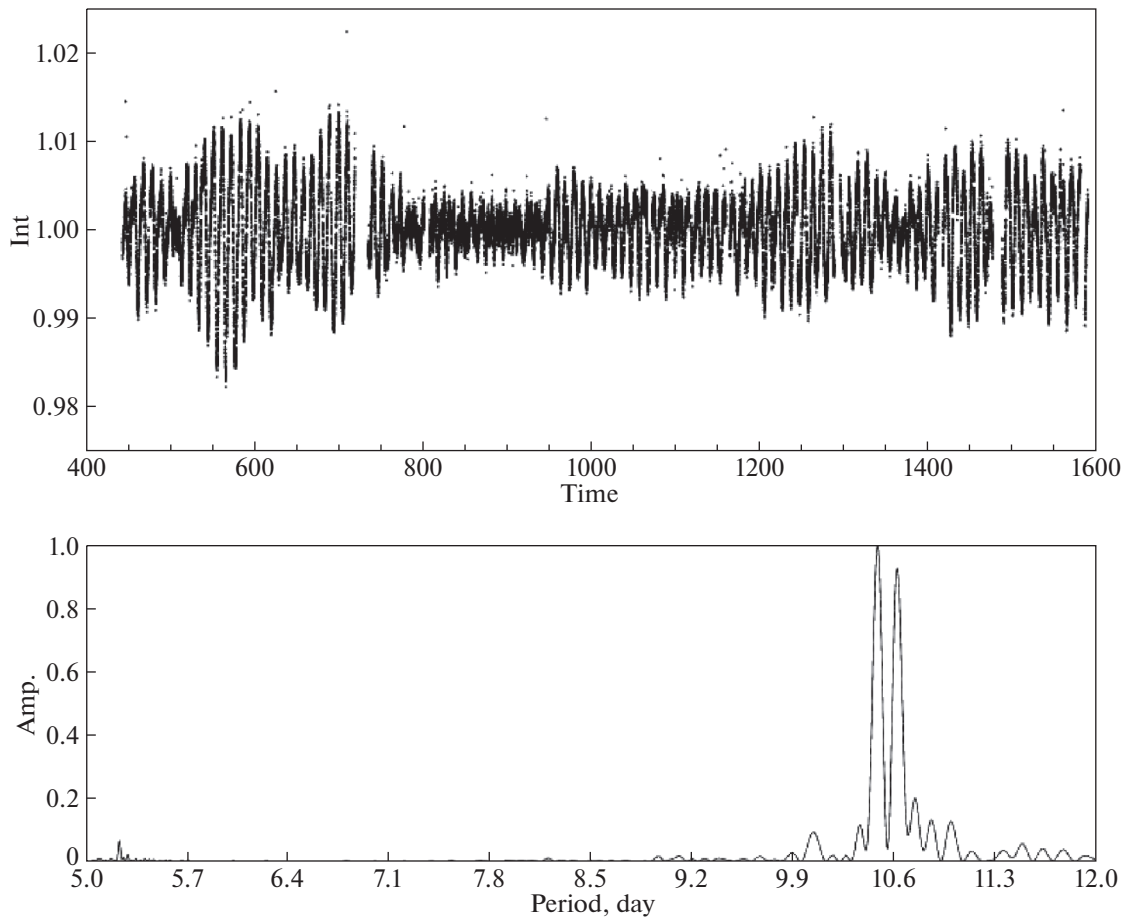


Рис. 8. То же, что на рис. 1, но для Kepler-67.

нами объектов хорошо согласуются со сделанными ранее в [18] заключениями об уменьшении активности (параметра запятненности) объектов с периодами вращения более $8-10^d$. Группа более быстро вращающихся объектов, исследованных нами ранее (периоды вращения P которых меньше $10-12^d$), характеризуется большими значениями параметра S . Среднее значение периодов вращения для звезд настоящего исследования составляет величину порядка 11.9^d , для группы более быстро вращающихся объектов, исследованных нами ранее, 5.8^d . При этом средние значения величины параметра запятненности S для этих групп равны $1.48 \pm 0.25\%$ и $4.3 \pm 0.46\%$ соответственно. Отметим, что точность определений параметра S высока (вычислительная точность не превышает сотых или тысячных долей процента), наибольшая погрешность S связана с установлением уровня блеска для звезды без пятен на поверхности (в нашем случае, как обычно, он принимался равным уровню максимального блеска, подробнее см. в [8]).

Ранее в [18] мы высказали предположение о том, что диаграмма “ $S-R_o$ ” повторяет классическую

зависимость рентгеновской светимости активных звезд от числа Россби, и что режим насыщения достигается при той же величине параметра R_o (насыщения) $= 0.13$. Это заключение было получено нами из анализа данных, приведенных в [19]. Из рассмотрения диаграммы на рис. 10 (средняя панель) следует, что это заключение подтверждается по другому набору данных [20]. При установленных числах Россби для 5 исследуемых нами звезд, их положение на диаграмме “ $S-R_o$ ” свидетельствует о возможности применить к ним оценки из [22]. По полученным оценкам их рентгеновские светимости находятся в диапазоне величин $\lg(R_X)$ от -4.49 до -4.46 ($R_X = L_X/L_{bol}$), что существенно выше солнечной величины $\lg(R_X) = -6.24$ [23]. До получения результатов точных рентгеновских наблюдений эти оценки могут быть использованы при моделировании влияния активности звезд на входящие в их системы планеты.

Единственным из рассматриваемых объектов, лежащих на диаграмме “ $S-R_o$ ” в области насыщения, является K2-25 (число Россби для него составляет 0.03).

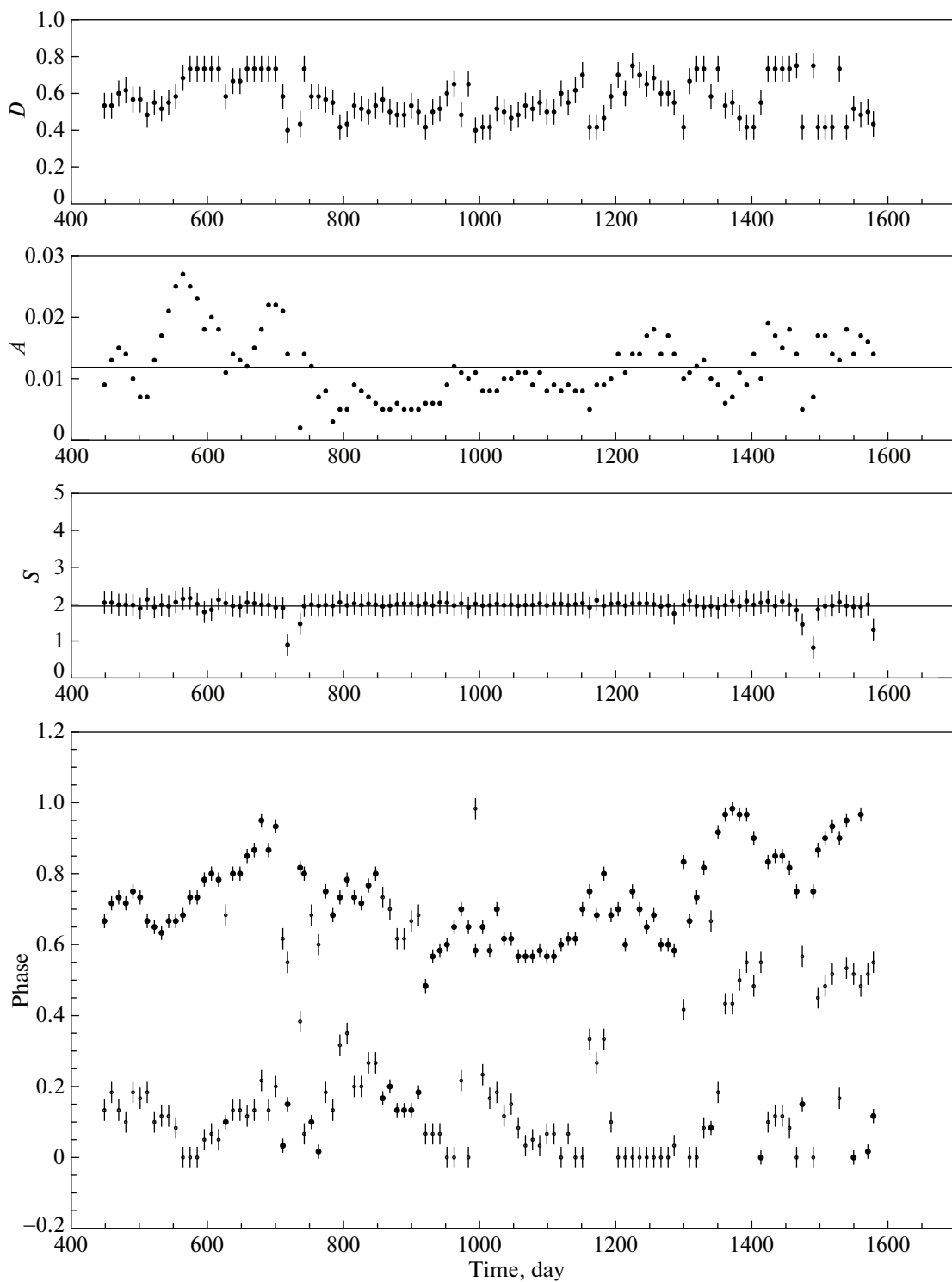


Рис. 9. Зависимости от времени для объекта Kepler-67 (сверху вниз): расстояния D между активными областями на поверхности в долях фазы периода вращения, амплитуды A переменности блеска, запятненности S поверхности звезды, и положений двух систем активных областей на поверхности объекта (панель Phase). Положение более активной области представлено крупными символами, менее активной — мелкими. Приведены погрешности определений положений активных областей. Ось абсцисс дана в единицах $\text{BJD}-245\,4833$ в сутках (см. текст).

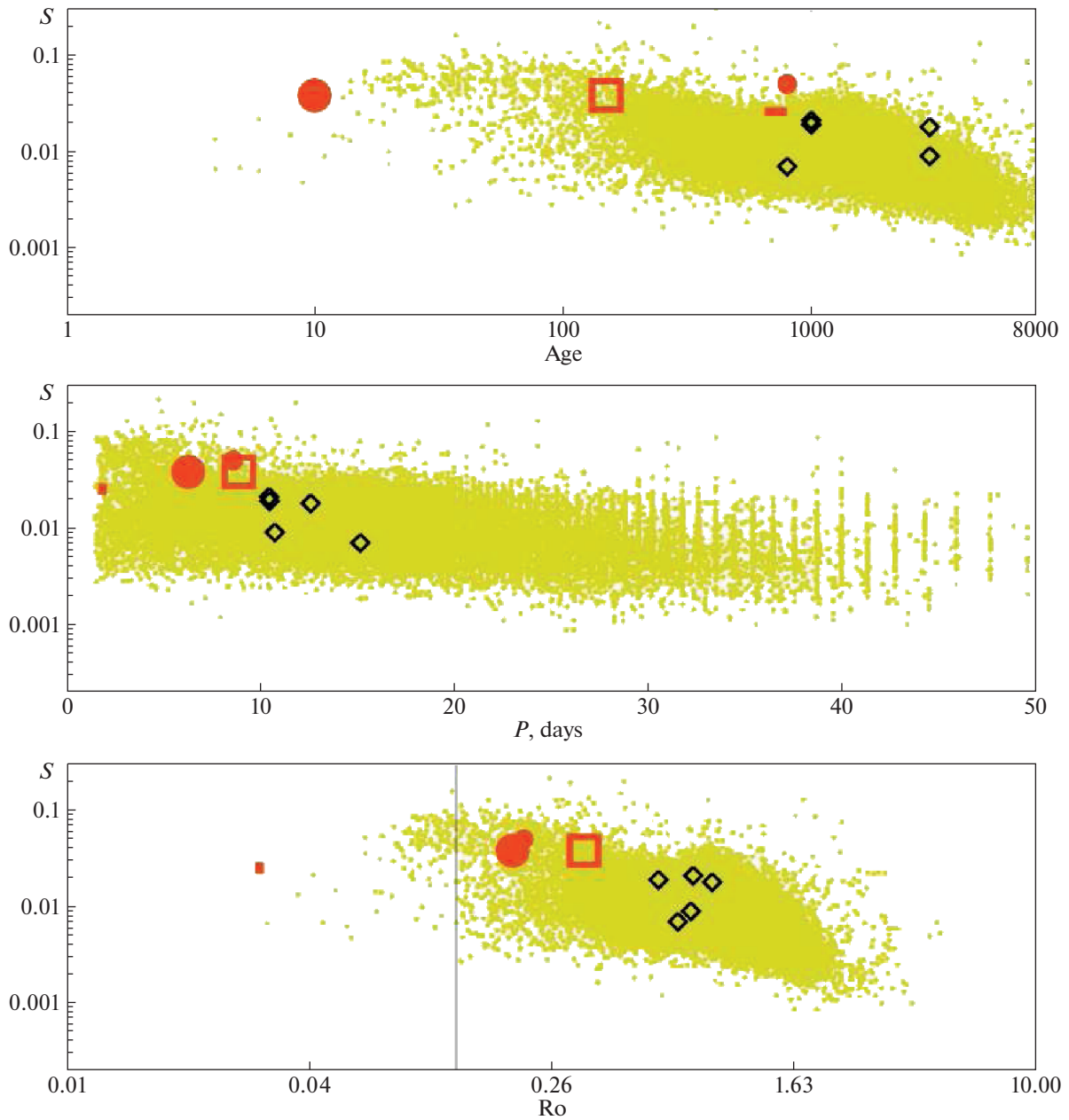


Рис. 10. Зависимость параметра запятненности S для 18 140 звезд главной последовательности от их возраста t (в млн. лет) (вверху), от периода вращения P звезд (в центре) и от чисел Россби (внизу). Вертикальная линия соответствует величине параметра Ro (насыщения) = 0.13. На всех диаграммах положение объектов из [19, 20] отмечено серыми (в электронной версии горчичными) точками. Положение K2-25 показано отрезком светлой (красной) линии. Большой светлый (красный) кружок представляет данные для K2-33, средний светлый (красный) кружок — для EPIC 211 901 114, квадрат — для EPIC 247 267 267. Положения объектов настоящего исследования показаны ромбами (см. текст). Ось ординат дана в логарифмической шкале.

4. ВЫВОДЫ

Мы продолжили исследование активности молодых объектов с планетными системами. Было выполнено исследование пяти звезд, обладающих планетными системами: K2-231, EPIC 219 388 192, K2-136, Kepler-66 и Kepler-67. Возраст этих объектов установлен по их принадлежности к скоплениям (Гиады — ~650–800 млн. лет, NGC 6811 —

1 млрд. лет, Ruprecht 147 — 3 млрд. лет). В числе изученных также K2-136, вторая планетная система, обнаруженная в скоплении Гиады. На момент открытия это первая мультипланетная система в молодых скоплениях. Система обладает тремя планетами, среди которых одна, имеющая наименьшие размер и период, принадлежит к числу планет земного типа.

В ходе анализа мы получили следующие результаты.

1. Прослежена непрерывная эволюция активных областей на поверхности К2-231, EPIC 219 388 192, К2-136, Kepler-66 и Kepler-67 в течение 70 сут.

2. Представлены заключения о характере изменений блеска изучаемых звезд, найдены или уточнены периоды их вращения. Периоды вращения объектов лежат в интервале $9-15^d$.

3. Для Kepler-66 и Kepler-67 получены оценки параметра дифференциального вращения $\Delta\Omega = 0.04-0.05$ рад/сут и 0.04 рад/сут соответственно.

4. Построены карты температурных неоднородностей на поверхности пяти изученных звезд и сделаны заключения о характере эволюции изменений положений активных областей. Определены величины параметра S — площади запятненной поверхности звезд, которые для наших объектов находятся в пределах $0.7-4.5\%$ от площади их полной видимой поверхности.

5. Изучено положение объектов на диаграммах “ S —возраст” для 18 140 звезд из [21], и “ S — период вращения” и “ S — числа Россби” для 34 030 звезд из [20], сделан вывод о соответствии S общему характеру зависимостей, установленных нами ранее [18] для 1570 М-карликов из [19] и полученным в настоящей работе.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны команде космического телескопа Кеплер и команде архива МАСТ за возможность использования данных наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. T. J. David, E. E. Mamajek, A. Vanderburg, J. E. Schlieder, et al., arXiv:1801.07320 [astro-ph.EP] (2018).
2. J. L. Curtis, A. Vanderburg, G. Torres, A. L. Kraus, et al., *Astron. J.* **155**, 173 (2018).
3. E. S. Dmitrienko and I. S. Savanov, *Astron. Rep.* **61**, 871 (2017).
4. I. S. Savanov, E. S. Dmitrienko, S. Karmakar and J. C. Pandey, *Astron. Rep.* **62**, 532 (2018).
5. I. S. Savanov, Proc. of the 2018 acad. A. A. Boyarchuk Memorial Conference, INASAN Science Proceedings, edited by D. V. Bisikalo and D. S. Wiebe (Moscow: Yanus-K, 2018) p. 73.
6. I. S. Savanov and E. S. Dmitrienko, *Astron. Rep.* **55**, 890 (2011).
7. I. S. Savanov and E. S. Dmitrienko, *Astron. Rep.* **56**, 116 (2012).
8. I. S. Savanov and K. G. Strassmeier, *Astron. Nachricht.* **329**, 364 (2008).
9. S. V. Berdyugina, *Liv. Rev. Solar Physics* **2**, 8 (2005).
10. G. Nowak, E. Palle, D. Gandolfi, F. Dai, et al., *Astron. J.* **153**, 131 (2017).
11. J. Curtis, American Astronomical Society, AAS Meeting **231**, id. 133.04 (2018).
12. A. W. Mann, A. Vanderburg, A. C. Rizzuto, A. L. Kraus, et al., *Astron. J.* **155**, id. 4 (2018).
13. J. H. Livingston, F. Dai, T. Hirano, D. Gandolfi, et al., *Astron. J.* **155**(3), id. 115 (2018).
14. D. R. Ciardi, I. J. M. Crossfield, A. D. Feinstein, J. E. Schlieder, et al., *Astron. J.* **155**(3), id. 10 (2018).
15. A. W. Mann, E. Gaidos, G. N. Mace, M. C. Johnson, et al., *Astrophys. J.* **818**, id. 46 (2016).
16. S. Meibom, S. A. Barnes, D. W. Latham, N. Batalha, et al., *Astrophys. J.* **733**, L9 (2011).
17. I. S. Savanov, *Astrophys. Bull.* **70**, 292 (2015).
18. E. S. Dmitrienko and I. S. Savanov, *Astron. Rep.* **61**, 122 (2017).
19. A. McQuillan, S. Aigrain and T. Mazeh, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **432**, 1203 (2013).
20. A. McQuillan, T. Mazeh and S. Aigrain, *Astroph. J. Suppl.* **211**, 24 (2014).
21. T. Reinhold and L. Gison, *Astron. and Astrophys.* **583**, id. A65 (2015).
22. N. J. Wright, J. D. Drake, E. E. Mamajek and G. W. Henry, *Astrophys. J.* **743**, id. 48 (2011).
23. D. J. Armstrong, C. E. Pugh, A.-M. Broomhall, D. J. A. Brown, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **455**, 3110 (2016).