

УДК 524.316.2:520.82

## АКТИВНОСТЬ И ХОЛОДНЫЕ ПЯТНА НА ПОВЕРХНОСТИ ЗВЕЗД СПЕКТРАЛЬНОГО КЛАССА G С СУПЕРВСПЫШКАМИ

© 2015 И. С. Саванов\*

*Институт астрономии РАН, Москва, 119017 Россия*

Поступила в редакцию 10 февраля 2015 года; принята в печать 3 июня 2015 года

По фотометрическим наблюдениям высокой точности, полученным космическим телескопом Kepler, мы рассмотрели свойства активных областей (холодных пятен) на поверхности 279 звезд спектрального класса G, для которых было открыто 1547 супервспышек энергии в диапазоне  $10^{33}$ – $10^{36}$  эрг. Главный вывод нашего исследования состоит в количественной оценке повышенной запятненности поверхности звезд, обладающих супервспышками, которая свидетельствует об увеличенной магнитной активности этих объектов. Вывод о повышенной запятненности поверхности рассматриваемых звезд был подтвержден на основе двух независимых определений переменности блеска. Кроме того, сделано заключение о том, что звезды с супервспышками не обладают выделяющими их из общего массива данными параметрами дифференциального вращения. На основе рассматриваемых данных не установлена корреляция параметров запятненности и параметров дифференциального вращения с характеристиками объектов — вычисленными для них числами Россби и энергией супервспышек. Дополнительно были рассмотрена зависимость энергии супервспышек от величины обратного числа Россби. Ни одно из этих сопоставлений не дало указаний на присутствие каких-либо очевидных закономерностей. Результаты анализа пяти звезд, у которых были зарегистрированы несколько десятков вспышек, свидетельствуют о том, что для одной и той же звезды при малых изменениях запятненности  $S$  могут достигаться значительные изменения энергии. На примере объекта KIC 10422252 показано, что при изменении параметра  $S$  в шесть раз при любом его значении происходили изменения энергии вспышек на порядки.

Ключевые слова: *звёзды: активность — звёзды: вспыхивающие — звёздные пятна*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Из анализа данных для 148 звезд спектрального класса G, наблюдавшихся космическим телескопом Kepler, Maehara et al. [1] открыли 365 супервспышек (супервспышками принято называть вспышки с энергиями  $10^{33}$ – $10^{36}$  эрг). Это исследование впервые позволило получить статистические оценки параметров супервспышек для карликов спектрального класса G и установить, что оценки распределения частоты супервспышек как функции их энергии подобны оценкам, полученным для Солнца. Кроме того, Maehara et al. [1] установили, что изученные ими карлики спектрального класса G обладают пятнами на поверхности, что проявляется во вращательной модуляции блеска звезд. Частота вспышек с энергией порядка  $10^{33}$ – $10^{35}$  эрг у подобных Солнцу звезд (по всей рассматриваемой выборке объектов) должна составлять в среднем одно событие в течение 800–5000 лет. В рассматриваемой выборке звезд с супервспышками не было зарегистрировано ни одной планетной

системы. Это заключение представляется крайне интересным, поскольку ранее считалось [2], что G-карлики с вращающимися около них горячими юпитерами являются хорошими кандидатами для звезд с супервспышками.

Позднее Shibayama et al. [3] расширили исследование [1] и провели по наблюдательному материалу космического телескопа Kepler анализ 1547 супервспышек для 279 звезд спектрального класса G. Были рассмотрены наблюдательные данные, охватывающие временной интервал с мая 2009 г. по сентябрь 2010 г. (сети наблюдений Q0–Q6), в общей сложности около 500 суток.

Результаты [3] также указывают на степенное распределение частоты вспышек, аналогичное найденному для Солнца. При изучении долговременной переменности блеска (примерно за 500 дней) в [3] было установлено, что для нескольких объектов частота вспышек может быть очень высокой; в частности, для KIC 10422252 она составила 57 супервспышек за 500 суток (т.е. одна вспышка в 10 дней). Shibayama et al. [3] также отмечают, что есть указания на то, что изученные ими

\*E-mail: [isavanov@inasan.ru](mailto:isavanov@inasan.ru)

звезды имеют большие пятна на поверхности — по их мнению, по размерам в десять раз больше солнечных — и что физическая природа высокой частоты и само наличие супервспышек связаны с присутствием больших пятен на звездах.

Цель нашего исследования состоит в изучении свойств активных областей (холодных пятен) на поверхности звезд, обладающих супервспышками. Разработанная нами методика анализа фотометрических наблюдений [4] позволяет установить по периодической переменности блеска звезды, вызванной ее вращением, наличие и свойства активных областей (пятен) на поверхности звезд и, соответственно, характеристики их магнитной активности. По результатам применения этой методики к звездам с супервспышками мы постарались найти ответ на вопрос о возможных отличительных свойствах магнитной активности этих звезд.

Исследование магнитной активности звезд с супервспышками, с одной стороны, даст обширные возможности для проверки разрабатываемых моделей генерации магнитных полей и моделей супервспышек на звездах спектрального класса G, а с другой — послужит основой для установления влияния вспышек такой энергии на окружающую их среду (аналог формирования космической погоды в нашей Солнечной системе). Отметим, что солнечные вспышки даже с энергией меньше  $10^{32}$  эрг могут приводить к существенным изменениям состояния земной атмосферы. Геомагнитные штормы высокой силы, аналогичные Кэррингтоновской вспышке 1859 г., вспышке 13 марта 1989 г. и др., могут являться источниками драматических повреждений технического характера.

## 2. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ИХ АНАЛИЗ

Ранее в [5] по фотометрическим наблюдениям высокой точности, полученным космическим телескопом Kepler, мы рассмотрели свойства активных областей (холодных пятен) на поверхности 737 звезд с планетными системами, для которых были установлены периоды вращения и имеются надежные определения параметров атмосфер. Нами были рассмотрены три метода определения запятненности поверхности звезд по фотометрическим наблюдениям: основанный на решении обратной задачи восстановления поверхностных температурных неоднородностей звезд по их кривым блеска [6], по упрощенной методике, предложенной в [4, 7], и, наконец, по соотношению, представленному в [7] ( $S$  определяется как отношение площади всех пятен на поверхности к площади всей видимой поверхности звезды).

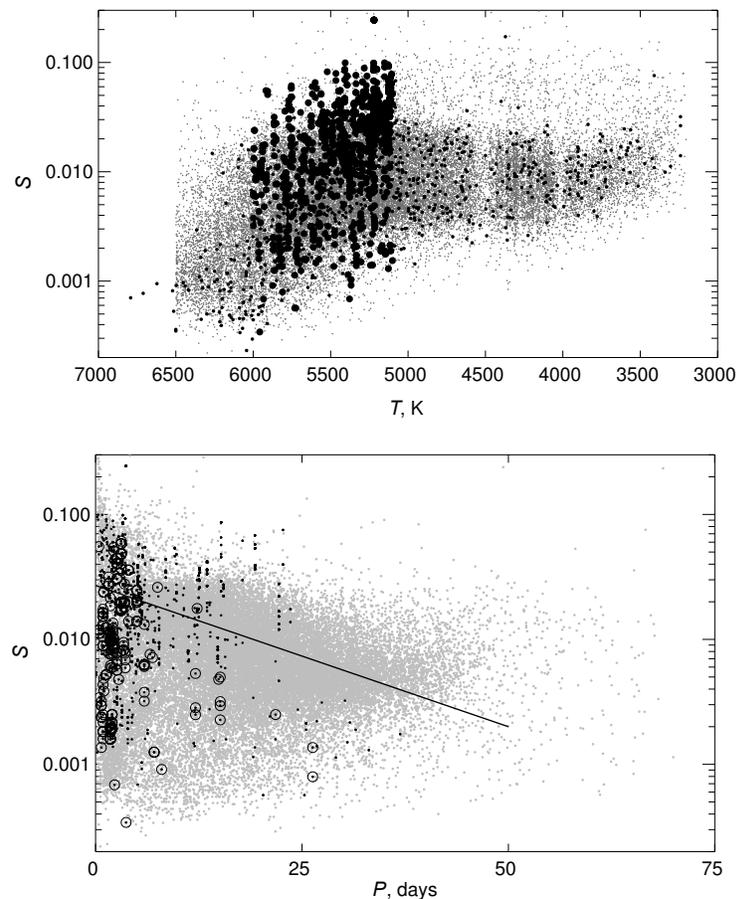
Было показано, что методика, предложенная в [7] и модифицированная нами в [4], может быть

применена к достаточно большим выборкам объектов и, что самое важное, предоставляет однородные данные, которые могут быть использованы для статистических оценок и установления зависимостей общего характера. Именно данное обстоятельство позволило нам по данным из [8] о переменности блеска 34 030 объектов выполнить определения параметра  $S$ , которые будут использованы нами ниже при рассмотрении особенности распределения параметра  $S$  от эффективной температуры для различных объектов.

Исходя из этого, мы применили указанную методику при анализе активности 279 звезд, у которых в [3] были зарегистрированы 1547 супервспышек. Для этой цели нами были использованы данные таблицы 2 из [3], которая содержит информацию как о фотометрической переменности указанных звезд, так и об их вспышечной активности.

## 3. АКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ВРАЩЕНИЕ

На рис. 1 представлены основные результаты нашего исследования. Верхняя часть рисунка содержит график зависимости запятненности  $S$  (величина, которая может рассматриваться как индикатор магнитной активности) звезд с наблюдавшимися супервспышками от эффективной температуры  $T_{\text{эфф}}$  этих объектов. Для удобства сравнения с данными, изображенными на рис. 3 в [8] и на рисунках нашего предыдущего исследования [5], ось ординат на рис. 1 представлена в логарифмическом масштабе. Для сравнения, как и в [5], мы представили результаты нашего определения параметра  $S$  для 34 030 звезд из [8]. Особенности распределения параметра  $S$  в зависимости от эффективной температуры были нами обсуждены в [5]. Главная из этих особенностей состоит в том, что верхняя огибающая величин  $S$  достигает своего максимума при температурах порядка 5400 К и резко падает в области более высоких температур (6000–6500 К). Заметный по результатам [8] и намечающийся на рис. 1 недостаток объектов с эффективными температурами около 4500 К и 4000 К (им соответствуют массы звезд  $0.55 M_{\odot}$  и  $0.7 M_{\odot}$ ) является артефактом, вызванным температурной калибровкой данных каталога Kepler. Недостаток объектов в области холодных звезд не дает возможности различить бимодальный характер распределения переменности у холодных звезд [8]. Хорошо заметен факт отсутствия холодных звезд с малой величиной  $S$  (малой амплитудой фотометрической переменности), отмеченный в [8]. В [5] было установлено, что данные, полученные нами для звезд с экзопланетами, демонстрируют аналогичные характерные особенности, отмеченные McQuillan et al. [8] и более заметные для их



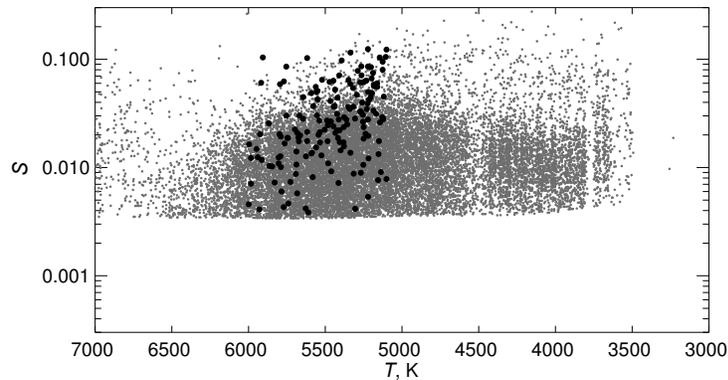
**Рис. 1.** Вверху: зависимость запятненности  $S$  звезд с супервспышками от эффективной температуры  $T_{\text{eff}}$ . Величины  $S$  выражены в долях от полной видимой поверхности звезды. Результаты нашего определения параметра  $S$  для 34 030 звезд из [8] показаны серыми символами, для звезд с экзопланетами — маленькими кружками, а для звезд с супервспышками — большими кружками. Внизу: зависимость запятненности  $S$  звезд от периода вращения. Величины  $S$  выражены в долях от полной видимой поверхности звезды. Результаты нашего определения параметра  $S$  для 34 030 звезд из [8] показаны серыми символами, данные для звезд с супервспышками с эффективными температурами менее 5750 К — черными точками, для звезд с эффективными температурами более 5750 К — ооконтуренными точками. Сплошная линия — зависимость из [8] величины запятненности  $S$  от периода вращения для звезд с экзопланетами и эффективными температурами менее 5750 К (см. текст).

выборки из 34 030 объектов. Главный вывод [5] состоит в том, что мы не обнаружили особенностей, отличающих магнитную активность звезд с экзопланетами от активности звезд более обширной выборки из [8].

Для звезд с супервспышками анализ распределения параметра запятненности от  $T_{\text{eff}}$  приводит к следующим выводам. Распределение  $S$ , по-видимому, также достигает своего максимума в области температур около 5400 К и спадает при увеличении эффективной температуры. В области низких величин  $T_{\text{eff}}$  отсутствие объектов с температурами менее 5100 К не дает возможности сделать определенные заключения о поведении параметра  $S$ . В диапазоне  $T_{\text{eff}}$  от 5100 К до 6000 К нижняя граница распределения  $S$ , вероятно, совпадает с соответствующими границами для 34 030 объектов

из [8] и звезд с планетными системами [5]. При этом очевидно, что верхняя граница превосходит их. Мы можем рассматривать данное обстоятельство как прямое указание на повышенную запятненность поверхности звезд с супервспышками и, соответственно, на их повышенную магнитную активность. Это заключение следует рассматривать как главный вывод нашего исследования.

Изучение объектов с экзопланетами [5] позволило по-новому взглянуть на диаграмму зависимости параметра запятненности от периода вращения звезды. Исследование полной выборки из 34 030 звезд привело к выводу о сложной зависимости параметра  $S$  от периода вращения в виде набора зависимостей и группировок объектов на диаграмме « $S$ –период вращения  $P$ ». На рис. 1 (нижняя часть) полный массив этих объектов по-



**Рис. 2.** Зависимость запятненности  $S$  звезд с супервспышками (по данным [9]) от эффективной температуры  $T_{\text{eff}}$ . Величины  $S$  выражены в долях от полной видимой поверхности звезды. Результаты нашего определения параметра  $S$  для 34 030 звезд из [8] показаны серыми символами, а для звезд с супервспышками из [9] — черными кружками (см. текст).

казан серым цветом. Конкретно для звезд с экзопланетами в [5] было установлено, что в случае звезд с эффективными температурами менее 5750 К имеется заметная зависимость величины запятненности от периода вращения (монотонное уменьшение  $S$  вплоть до периодов в 35–40 суток). Эта зависимость показана сплошной линией. Кроме того, важный результат исследования [5] состоит в том, что среди звезд с эффективными температурами менее 5750 К и периодами вращения менее десяти суток не обнаружены звезды с малыми величинами  $S$  (менее 0.002). Напротив, звезды с эффективными температурами более 5750 К имеют очень малую запятненность в случае быстровращающихся звезд (малые величины периодов вращения), которая возрастает для объектов с периодами вращения порядка 20–25 суток. Анализ представленных на рис. 2 данных, соответствующих звездам с супервспышками, показал, что, во-первых, данные для объектов с периодами вращения  $P$  менее 25 суток с большим разбросом удовлетворяют основной зависимости, показанной сплошной линией (звезды с  $P$  более 25 суток лежат, вероятно, ниже нее). Во-вторых, среди звезд с  $P$  менее десяти суток для всего температурного диапазона имеются звезды как с малыми, так и с большими величинами параметра запятненности. Наконец, среди быстровращающихся звезд с эффективными температурами более 5750 К встречаются и звезды, площадь пятен которых превосходит 1%, хотя в целом большая часть этих объектов (оконтуренные символы) лежит ниже основной зависимости. Очевидно, что особенности характера зависимости параметра  $S$  от периода вращения звезд с супервспышками не повторяют в точности особенности, выявленные ранее у звезд с экзопланетами.

#### 4. ОЦЕНКИ ЗАПЯТНЕННОСТИ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ ПО ДАННЫМ РЕЙНХОЛДА, РЕЙНЕРСА И БАСРИ

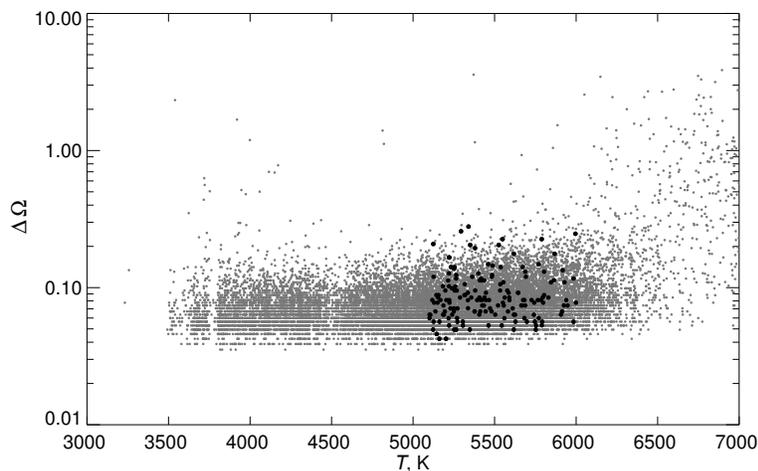
Помимо возможности нахождения периодов вращения звезд по модуляции блеска вследствие наличия холодных пятен на поверхности, высокоточные наблюдения с космическим телескопом Кеплер позволяют также установить наличие дифференциального вращения звезд. Так, например, Рейнхолд, Рейнерс и Басри [9] определили периоды вращения свыше 40 тысяч активных звезд по наблюдению в период Q3. Для большого числа этих объектов (18 616 звезд, 77% от полного числа) было установлено наличие близкого по величине второго периода. Рассматривая существование двух периодов как следствие дифференциального характера вращения звезды, Reinhold et al. [9] выполнили оценки параметров дифференциального вращения: величин  $\Delta\Omega$  (различие угловых скоростей вращения на экваторе и на полюсе) и  $\alpha$  — относительного параметра закона дифференциального вращения вида

$$\Omega(\theta) = \Omega(\text{eq}) (1 - \alpha \sin^2(\theta)),$$

где  $\theta$  — широта. Напомним, что для Солнца  $\alpha_{\odot} = 0.2$ .

При анализе данных [9] мы установили, что среди найденных в этом исследовании 18 616 оценок параметров дифференциального вращения 165 принадлежат к изучаемым нами звездам с супервспышками.

Этот массив данных был прежде всего использован для определения параметра  $S$ . Анализ данных [9] позволил нам подтвердить заключение о повышенной запятненности поверхности звезд с супервспышками, полученное по независимым определениям переменности блеска этих объектов в [3].



**Рис. 3.** Распределение параметра  $\Delta\Omega$ , характеризующего дифференциальное вращение для 18616 звезд из [9] (серые символы), в зависимости от  $T_{\text{eff}}$ . Темными кружками на нем выделены результаты, соответствующие 165 объектам, общим с работой [3].

На рис. 2 изображено распределение параметра  $S$ , установленного для 18606 звезд по оценкам переменной блеска, выполненным в [9] для периода наблюдений Q3. Отметим, что в отличие от [8], Reinhold et al. [9] рассматривали только карлики с повышенной переменностью (параметр  $R(\text{var})$  более 0.3%). Но даже для этой выборки данные о  $S$  для 165 звезд с супервспышками указывают на повышенную запятненность этих объектов и подтверждают сделанный выше вывод об их более высокой магнитной активности.

На рис. 3 для 18616 звезд из [9] приведено распределение параметра  $\Delta\Omega$ , характеризующего дифференциальное вращение объектов в зависимости от  $T_{\text{eff}}$ . На нем также выделены результаты, соответствующие 165 объектам, общим с работой [3]. Из представленных данных следует, что, отличаясь повышенной запятненностью, звезды с супервспышками не выделяются из общего массива своими параметрами дифференциального вращения.

## 5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

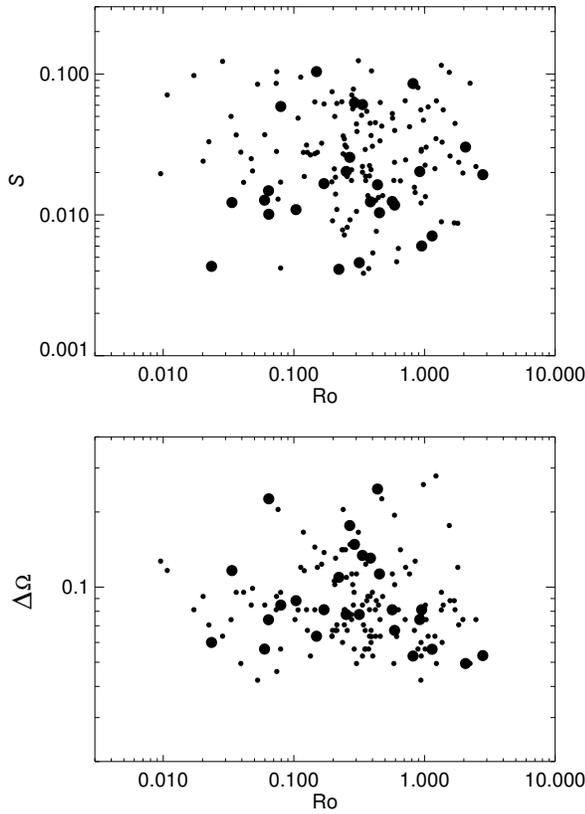
Исследования фотометрической переменности звезд по наблюдениям с космическими миссиями CoRoT (см., например, [10]) и Kepler (примеры наших исследований в [4, 11–13] и др.) приводят к новым результатам, которые ранее были принципиально недоступны при наблюдениях с наземными телескопами. К их числу следует отнести и открытие у звезд спектрального класса G супервспышек с энергиями  $10^{33}$ – $10^{36}$  эрг. Это открытие впервые позволило сделать статистические оценки параметров супервспышек для карликов спектрального класса G и установить, что оценки распределения

частоты супервспышек как функции их энергии подобны оценкам, выполненным для Солнца, а также найти, что изученные карлики обладают пятнами на поверхности, что проявляется во вращательной модуляции блеска звезд.

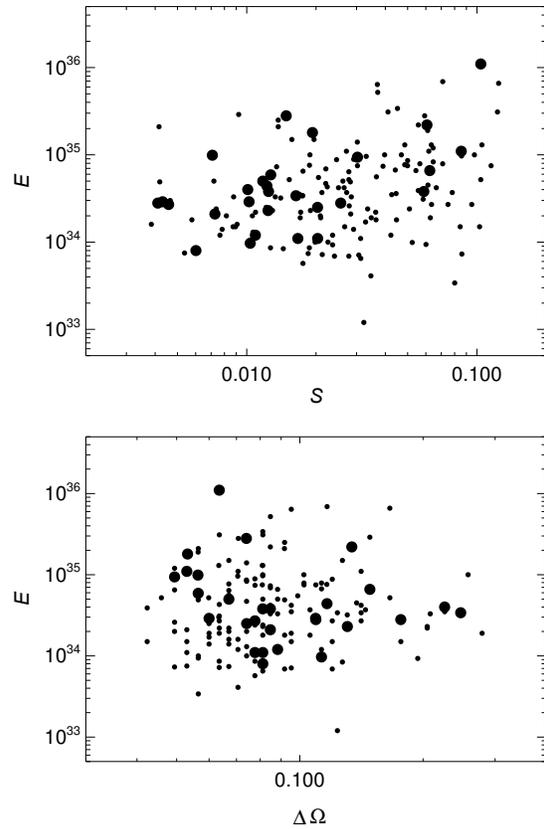
Если, как и в случае Солнца, считать магнитные пятна одним из наиболее характерных индикаторов магнитной активности звезд, то найденные в нашем исследовании повышенные значения параметра  $S$  также свидетельствуют о сравнительно более высоком уровне магнитной активности звезд с супервспышками.

Данные [3] и наши вычисления предоставили возможность провести ряд дополнительных сопоставлений параметров звезд с супервспышками. Необходимо подчеркнуть, что ни одно из таких сопоставлений, использующих выборку объектов из [3], не дало указаний на присутствие каких-либо очевидных закономерностей между рассматриваемыми параметрами. Для контроля на большинстве приводимых диаграмм отдельными символами были выделены звезды с эффективной температурой более 5750 K.

На рис. 4 приведены сопоставления параметров запятненности  $S$  и дифференциального вращения  $\Delta\Omega$  с числом Россби  $\text{Ro} = P(\text{rot})/\tau_c$ , где  $\tau_c$  — длительность конвективного оборота, а на рис. 5 — сопоставления параметров запятненности  $S$  и  $\Delta\Omega$  с энергиями супервспышек  $E$ . Рисунок 6 сопоставляет энергии супервспышек и обратное число Россби ( $\text{Ro}^{-1} = \tau_c/P(\text{rot})$ ). Штриховой линией показана статистическая зависимость из [14], пропорциональная  $\text{Ro}^{-1}$  и установленная по более обширной выборке 795 звезд (к сожалению, детальный список звезд авторы не приводят), но включающая не только звезды спектрального



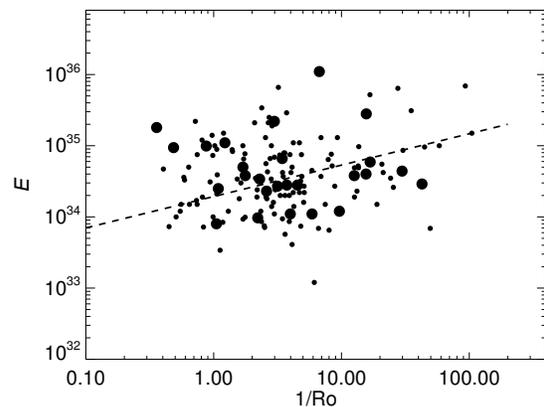
**Рис. 4.** Изменения параметров запятненности  $S$  и дифференциального вращения  $\Delta\Omega$  в зависимости от числа Россби ( $Ro = P(\text{rot})/\tau_c$ ). Большие кружки соответствуют данным для звезд с эффективными температурами более 5750 К.



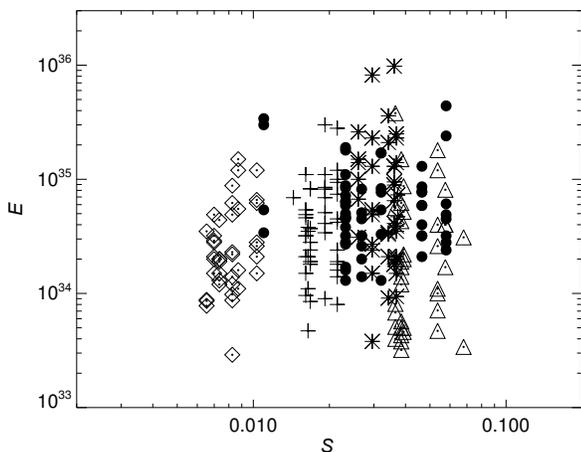
**Рис. 5.** Сопоставления энергий супервспышек  $E$  (эрг) с параметрами запятненности  $S$  и дифференциального вращения  $\Delta\Omega$  (радиан/дней). Большие кружки соответствуют данным для звезд с эффективными температурами более 5750 К.

класса G, но и классов K и M. Комментируя характер найденной ими зависимости, Candelaresi et al. [14] делают заключение, что ее статистическая значимость невелика. Нет основания полагать, что данные из [3] удовлетворяют этой зависимости.

Мы отобрали из [3] пять звезд, для которых были зарегистрированы несколько десятков вспышек. Рекордная величина вспышек (57) была найдена для объекта KIC 10422252. Позднее Wu Chiju et al. [15] по более обширному набору наблюдательных данных телескопа Kepler открыли для данной звезды 177 вспышек. Наибольшее число вспышек (202) было установлено в [15] для звезды KIC 11551430. Однако наш интерес привлекли именно данные [3], поскольку они позволяют непосредственно сравнить энергию вспышки с запятненностью  $S$ , измеренной в то же время. На рис. 7 представлено сопоставление  $S$  с энергиями супервспышек  $E$  (пять разных звезд обозначены разными символами). Согласно этому рисунку (как и рис. 5), между рассматриваемыми параметрами нет зависимости. Для одной и той же звезды



**Рис. 6.** Сопоставление энергии супервспышек  $E$  (эрг) и обратного числа Россби ( $Ro^{-1} = \tau_c/P(\text{rot})$ ). Штриховой линией показана статистическая зависимость по из [14], пропорциональная  $Ro^{-1}$  и установленная по более обширной выборке из 795 G, K и M звезд. Большие кружки соответствуют данным для звезд с эффективными температурами более 5750 К.



**Рис. 7.** Сопоставление энергии супервспышек  $E$  (эрг) и параметра запятненности  $S$  для пяти звезд из [3]. Разные звезды обозначены разными символами, темные заполненные кружки — данные для KIC 10422252 (см. текст).

при малых изменениях  $S$  могут достигаться значительные изменения энергии (т.е. при практически одинаковых площадях магнитных пятен энергия вспышек может изменяться вплоть до двух порядков). Из анализа данных для уже упомянутого объекта KIC 10422252 можно сделать еще одно заключение: запятненность KIC 10422252 изменялась за период наблюдений (496 суток) от 1% полной поверхности звезды до 6%, и при этом при любом уровне запятненности достигались изменения энергии вспышек на порядки величин ( $10^{34}$ – $5 \times 10^{36}$  эрг).

## 6. ВЫВОДЫ

Исследование 148 звезд спектрального класса G, для которых в [1] было открыто 365 супервспышек (энергии в диапазоне  $10^{33}$ – $10^{36}$  эрг), впервые позволило получить статистические оценки параметров супервспышек для G-карликов. Согласно выполненному позднее исследованию [3], был подтвержден вывод [1] о степенном распределении частоты вспышек, аналогичном найденному для Солнца, а также при изучении долговременной переменности блеска было показано, что для нескольких объектов частота вспышек может быть очень высокой. Оба исследования привели к выводу о том, что изученные в них звезды имеют большие пятна на поверхности, существенно превосходящие солнечные по размерам. По фотометрическим наблюдениям высокой точности, полученным с космическим телескопом Kepler, мы рассмотрели свойства активных областей (холодных пятен) на поверхности 279 звезд спектрального класса G с

супервспышками. Главный вывод нашего исследования состоит в установлении повышенной запятненности поверхности звезд с супервспышками, что, в свою очередь, также свидетельствует об их повышенной магнитной активности.

Анализ данных [9] позволил нам по независимым определениям переменности блеска подтвердить заключение о повышенной запятненности поверхности звезд с супервспышками. Эти же данные [9] свидетельствуют о том, что, несмотря на повышенную запятненность, звезды с супервспышками не выделяются из общего массива звезд параметрами дифференциального вращения.

Проведены сопоставления параметров запятненности  $S$  и дифференциального вращения  $\Delta\Omega$  с числом Россби и энергиями супервспышек. Также была рассмотрена зависимость энергии супервспышек от величины обратного числа Россби. Ни одно из этих сопоставлений, использующих выборку объектов, общих для [9] и [3], не дало указаний на присутствие каких-либо очевидных закономерностей.

Проанализированы результаты для пяти звезд, у которых в [3] были зарегистрированы несколько десятков вспышек. Сопоставление запятненности  $S$  с энергиями супервспышек  $E$  не выявило зависимости между рассматриваемыми параметрами. При этом для одной и той же звезды при малых изменениях  $S$  могут достигаться значительные изменения энергии. Более того, в случае объекта KIC 10422252, демонстрирующего изменения запятненности  $S$  в шесть раз, при любом значении  $S$  происходили изменения энергии вспышек на порядки.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны команде космического телескопа Kepler и команде архива MAST (архив Б. А. Микульски для космических телескопов) за возможность использования данных наблюдений. Настоящая работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Переходные и взрывные процессы в астрофизике» (П-41).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. H. Maehara, T. Shibayama, S. Notsu, et al., *Nature* **485**, 478 (2012).
2. E. P. Rubenstein and B. E. Schaefer, *Astrophys. J.* **529**, 103 (201).
3. T. Shibayama, H. Maehara, S. Notsu, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **209**, 1 (2013).
4. I. S. Savanov, *Astronomy Reports* **55**, 341 (2011).
5. I. S. Savanov, *Astrophysical Bulletin* **70**, 83 (2015).
6. I. S. Savanov and K. G. Strassmeier, *Astronomische Nachrichten* **329**, 364 (2008).

7. S. S. Vogt, *Astrophys. J.* **250**, 327 (1981).
8. A. McQuillan, T. Mazeh, and S. Aigrain, *Astrophys. J. Suppl.* **211**, 24 (2014).
9. T. Reinhold, A. Reiners, and G. Basri, *Astron. and Astrophys.* **560**, 4 (2013).
10. I. S. Savanov, *Astronomy Reports* **54**, 228 (2010).
11. I. S. Savanov and E. S. Dmitrienko, *Astronomy Reports* **55**, 437 (2011).
12. I. S. Savanov and E. S. Dmitrienko, *Astronomy Reports* **56**, 116 (2012).
13. I. S. Savanov, *Astronomy Reports* **55**, 341 (2011).
14. S. Candelaresi, A. Hiller, and H. Maehara, et al., *Astrophys. J.* **792**, 67 (2014).
15. Wu Chiju, Ip Winghuen, and Huang Liching, *Astrophys. J.* **798**, 92 (2015).

## Activity and Cold Spots on the Surface of G-Type Superflare Stars

I. S. Savanov

Based on the high precision photometric observations of the Kepler space telescope, we have investigated the properties of the active regions (cold spots) on the surface of 279 stars of the spectral class G, for which 1547 superflares with energies in the range of  $10^{33}$ – $10^{36}$  erg have been revealed. The main conclusion of our study is the quantitative estimation of the increased surface spottedness of superflare stars, which indicates enhanced magnetic activity of these objects. The increased spottedness on the surfaces of the studied stars was confirmed based on two independent estimations of stellar brightness variations. In addition, it was concluded that superflare stars do not stand out in the common dataset of differential rotation parameters. Based on the data considered, no correlation was found of the spottedness parameters or the differential rotation parameters with the characteristics of these objects—their Rossby numbers and superflare energy. Additionally, the correlation between the superflare energy and the inverse Rossby number was considered. None of these comparisons gave an indication for the presence of any obvious correlation. The results of the analysis of five stars with a few dozen flares registered indicate that for the same star whereas spottedness  $S$  variations are small, significant changes in the superflare energy can be achieved. On the example of KIC 10422252, we show that at sixfold  $S$  variations, the flare energy varies by orders of magnitude at any given  $S$  value.

Keywords: *stars: activity—stars: flare—starspots*