

УДК 524.337

Изучение вспыхивающих звезд в КрАО

Р.Е. Гершберг

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 14 октября 2005 г.

Аннотация. Перечислены основные достижения в КрАО за 45 лет изучения вспыхивающих звезд.

1 Введение

После нескольких случайных фотометрических и спектральных регистраций вспышек красных карликовых звезд в 20-е и 30-е годы XX века, систематические наблюдения таких объектов были начаты в конце 40-х годов, когда В. Люйтен привлек внимание ряда американских наблюдателей к вспыхивающей звезде, получившей позднее обозначение UV Cet. В 1958 году на X Генеральной Ассамблее МАС вспыхивающие красные карлики были выделены в отдельный тип переменных звезд, а в 1960 году в КрАО П.Ф. Чугайнов, пройдя школу звездной фотометрии В.Б. Никонова, начал на МТМ-200 систематические фотоэлектрические наблюдения как уже известных вспыхивающих звезд, так и заподозренных в принадлежности к таким переменным.

В том же 1960 году в КрАО вступил в строй 2.6 м Шайновский телескоп. Успех первых наблюдений ряда внегалактических систем в прямом фокусе ЗТШ с помощью фильтровой ЭОПной приставки, выполненных А.Б. Северным, В.Б. Никоновым, К.К. Чуваевым и И.М. Копыловым, стимулировал разработку и изготовление под руководством Г.А. Моница в мастерских Обсерватории ЭОПного спектрографа. Весной и осенью 1965 года на этом приборе – при фотометрической поддержке П.Ф. Чугайнова на камере 640 мм – были получены спектры вспышек самой яркой вспыхивающей звезды AD Leo и самой активной UV Cet. Временное разрешение этих спектров на полтора-два порядка величины превосходило все ранее достигнутое, была реализована точная привязка спектров к кривым блеска вспышек, так что впервые были получены сведения о временном развитии спектров вспышек. Эти результаты получили широкую известность: они были доложены на научной сессии Отделения общей и прикладной физики АН СССР в Москве и на заседании Комиссии по переменным звездам МАС во время Генеральной Ассамблеи в Праге, проф.Б. Ловелл включил спектрограммы одной из зарегистрированных нами вспышек в свой обзор в *Monthly Notices RAS*, и КрАО стала одной из ведущих обсерваторий по исследованиям вспыхивающих звезд. Этот довольно быстрый успех был обусловлен тем, что работа выполнялась на третьем тогда в мире телескопе с использованием одного из первых ЭОПных спектрографов.

Изучение активности красных карликовых звезд продолжается в КрАО уже 45 лет. За минувшие годы сотрудники Обсерватории опубликовали по этой теме более 240 работ, что составляет около 6% от общего числа всех соответствующих работ в мире. Опубликовано 5 монографий, первая и последняя из которых были переведены на английский язык. Не предполагая делать подробный обзор по всей этой обширной теме, я намерен остановиться только на некоторых из полученных в

КраО результатах, которые были принципиальными в свое время или сохраняют научное значение по сей день.

2 Поиски и открытия новых вспыхивающих звезд

В 60-70-е годы П.Ф. Чугайнов и Н.И. Шаховская открыли более полутора десятков вспыхивающих звезд – это был заметный вклад в общее число известных тогда объектов такого типа. Поиски вспыхивающих звезд проводились в то время с помощью многочасового фотоэлектрического патрулирования красных карликов, вспышечная активность которых была заподозрена по их эмиссионному спектру или по кинематическим характеристикам, соответствующим молодым звездам.

3 Временное распределение вспышек и их энергетический спектр

В середине 60-х годов исследователи UV Cet звезд активно обсуждали временное распределение вспышек: происходят ли такие события периодически или случайным образом. Для решения этой альтернативы в 1967 году на XIII Генеральной Ассамблее МАС в Праге в рамках 27 Комиссии по переменным звездам по инициативе КраО была организована Рабочая группа по вспыхивающим звездам. В течение 1967-73 годов эта РГ провела 36 таких кампаний, в которых приняли участие несколько десятков наблюдателей из 19 обсерваторий в 13 странах. В ходе этих кампаний 8 вспыхивающих звезд патрулировались около 3000 часов и при этом были зарегистрированы несколько сот вспышек. Наиболее детальное исследование временного распределения вспышек на основе кооперативных наблюдений выполнили в Бюракане В.С. Осканян и В.Ю. Теребиж (1971): они нашли, что в целом временное распределение вспышек соответствует Пуассоновскому, но с некоторым превышением числа очень близких по времени вспышек. (Позднее причину избытка близких по времени вспышек стали видеть в звездных аналогах солнечных симпатических вспышек.)

Анализируя собранные в ходе этих кооперативных наблюдений данные о звездных вспышках, П.Ф. Чугайнов (1972) обнаружил степенной характер энергетического спектра вспышек с резким изломом у предела их уверенного детектирования. Это обстоятельство позволило выделять область энергетического спектра достаточно сильных вспышек, свободную от наблюдательной селекции, и сопоставлять результаты независимых наблюдателей. На основе данных кооперативных кампаний и других фотометрических наблюдений при участии Н.И. Шаховской (Гершберг и Шаховская, 1983) и В.И. Краснобабцева (Коротин и Краснобабцев, 1985) была построена общая картина вспышечной активности звезд в диапазоне 10 порядков величины: на рис. 1 представлены физически значимые области энергетических спектров вспышек звезд в солнечной окрестности, нескольких групп звезд в Плеядах и в скоплении Ориона и солнечных вспышек.

Систематическое применение формализма степенного спектра оказалось весьма продуктивным и использовалось многими исследователями. Так, было показано, что при наблюдаемых спектральных индексах энергетических спектров вспышек в суммарном излучении вспышек преобладает вклад редких, но сильных событий. Далее, Н.И. Шаховская и я (Гершберг и Шаховская, 1983) нашли, что общая энергия вспышек близка по порядку величины к хромосферной и корональной светимостям. Когда в следующем году этот факт был трижды независимо обнаружен в Англии и в США, он послужил исходным аргументом гипотезы о нагреве звездных корон многочисленными микровспышками. Наконец, сравнение спектральных индексов энергетических спектров вспышек звезд в звездных скоплениях разных возрастов дало основание заподозрить эволюционный тренд этого индекса: в звездах молодых скоплений возрастает вклад многочисленных слабых вспышек (Гершберг, 1989).

Под влиянием наших результатов Л.Н. Курочка (1987) нашел степенной энергетический спектр солнечных оптических вспышек, а затем В.В. Касинский и Р.Т. Сотникова (Касинский и Сотникова, 1989; Касинский, 2005) нашли такой же характер энергетического спектра солнечных вспышек в

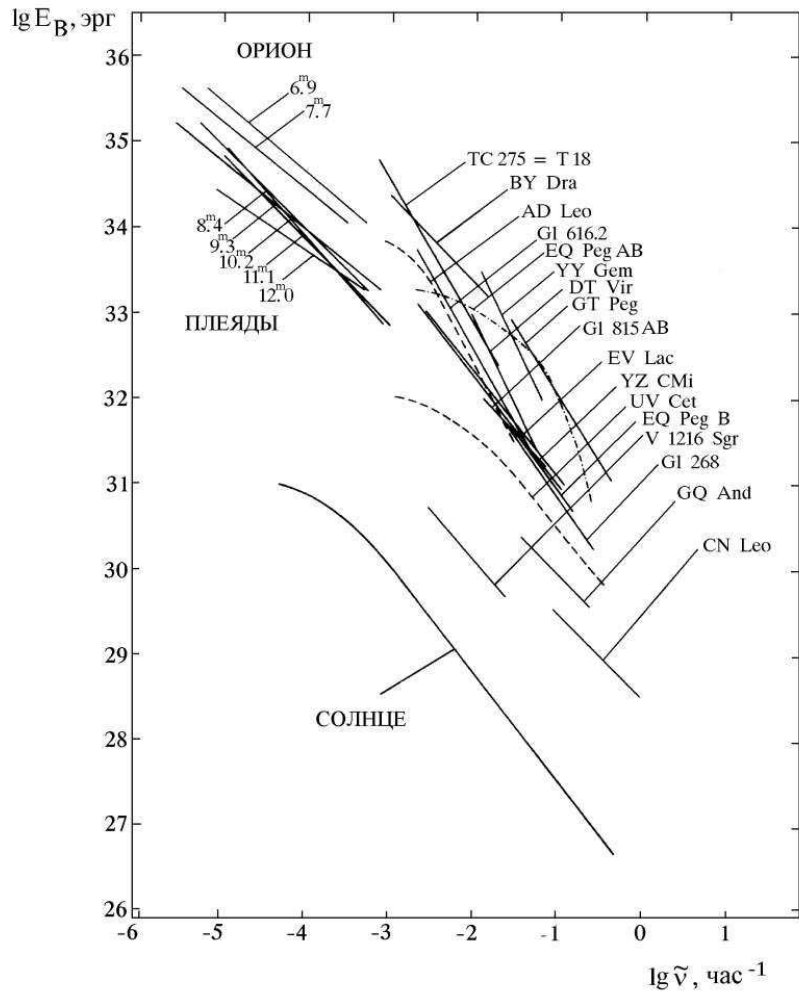


Рис. 1. Энергетические спектры вспышек звезд солнечной окрестности, звезд в скоплениях Плеяд и Ориона и солнечных вспышек – физически значимые части интегральных спектров выше изломов, обусловленных наблюдательной селекцией (Гершберг и др., 1987)

мягком рентгене и обнаружили уверенную корреляцию между спектральным индексом и числами Вольфа, то есть систематические вариации индекса на довольно короткой временной шкале.

К сожалению, надежды с помощью изучения степенного спектра вспышек решить проблему источника их энергии или механизма первичного энерговыделения не оправдались, так как оказалось, что степенной энергетический спектр вспышек удовлетворяет идеям диссипации во вспышках и магнитных полей, и кинетических движений, и современным моделям вспышек в рамках теории лавин и теории фазовых переходов в турбулентной плазме.

4 Небулярная модель вспышек и начало систематических звездно-солнечных исследований

В начале 60-х годов, еще до упомянутых выше спектральных наблюдений на ЗТШ, пройдя школу изучения межзвездной среды у С.Б. Пикельнера, я начал разрабатывать так называемую

небулярную модель вспышек на красных карликовых звездах; в основе этой модели лежала гипотеза о том, что наблюдаемые вспышки звезд обусловлены появлением над поверхностью таких сравнительно холодных объектов горячего ионизованного газа и его последующим высвечиванием. В то время существовало около десятка разных гипотез о механизме излучения вспышек звезд типа UV Cet – от идеи Э. Герцшпрунга о выпадении на звезды комет до концепции В.А. Амбарцумяна о выбросе из звездных недр сверхплотной материи неизвестной природы. В отличие от большинства этих гипотез, небулярная модель позволяла сделать количественные предсказания и их экспериментальную проверку. Первые расчеты в рамках небулярной модели нисходящих ветвей кривых блеска вспышек и показателей цвета U-B и B-V дали весьма предварительные результаты. К более четким выводам привели спектральные наблюдения. На рис. 2 дана кривая блеска вспышки AD Leo 18 мая 1965 года, воспроизведены некоторые спектрограммы и приведено сопоставление измеренных эквивалентных ширин эмиссионных линий на разных фазах вспышки с ожидаемыми величинами, вычисленными в рамках небулярной модели (Гершберг, 1968). Этот рисунок и другие наши аналогичные графики показали, что небулярная модель может представить наблюдения либо при малой оптической толщине излучающего газа и корональной температуре, либо при хромосферной температуре, но при значительной непрозрачности в линиях. Вариант с корональной температурой был отвергнут анализом одновременных наземной UVV-фотометрии и ультрафиолетовой спектроскопии. Оставшийся вариант естественно превратился в хромосферную модель звездных вспышек.

В 1972 году в журнале *Comments Astrophys. and Space Physics* С.Б. Пикельнер со мной (Гершберг и Пикельнер, 1972) опубликовал небольшую заметку, в которой активность красных карликовых звезд рассматривалась как явление физически родственное солнечной активности, а с эволюционной точки зрения была продолжением активности молодых звезд типа Т Тельца. Через 3 года Д. Маллэн (1975) выдвинул гипотезу об активных красных карликах как о звездах малых масс с сильными магнитными полями. Эти две публикации были одними из первых, в которых развивалась концепция звездно-солнечной физики.

Аналогия с солнечной активностью не сразу была принята. Но сейчас, через 30 лет, когда практически всем явлениям солнечной активности – вспышкам, пятнам, активным областям, структурированной хромосфере и короне, циклам активности – найдены аналоги на звездах рассматриваемого типа, а очень молодые и очень старые G карлики позволили предметно представить эволюцию солнечной активности за прошедшие и на предстоящие миллиарды лет – сейчас тезис об идентичности физической природы активности Солнца и красных карликовых звезд является общепринятым.

5 Вспыхивающие звезды вне вспышек

В начале 70-х годов Н.И. Шаховская (1974) провела цикл спектральных наблюдений красных карликовых звезд на ЗТШ и получила характеристики спектров более 40 звезд в спокойном состоянии. Количественный анализ этих наблюдений впервые показал систематическое нарастание интенсивности водородной эмиссии в направлении поздних спектральных типов, уменьшение отношения кальциевой эмиссии к водородной в том же направлении и уверенную корреляцию водородной эмиссии с уровнем вспышечной активности. Естественным продолжением результатов Н.И. Шаховской явилось обнаружение аналогичных зависимостей в ультрафиолетовых эмиссиях вспыхивающих звезд, найденных позднее с помощью IUE. Результаты Н.И. Шаховской долгое время оставались непревзойденными и были перекрыты по детальности данных только в конце 80-х наблюдениями Б. Петтерсена и С. Холи в США.

П.Ф. Чугайнов (1972) и Н.И. Шаховская (1975) по фотометрическим и кинематическим характеристикам красных карликов нашли, что вспыхивающие звезды являются преимущественно, но не исключительно, молодыми объектами; открытие среди вспыхивающих старых звезд вплоть до субкарликов показало, что не молодость сама по себе является причиной вспышечной активности. Позднее было показано, что такой конечной причиной является быстрое вращение, которое тормозится звездным ветром в одиночных звездах, но может долго поддерживаться в двойных системах

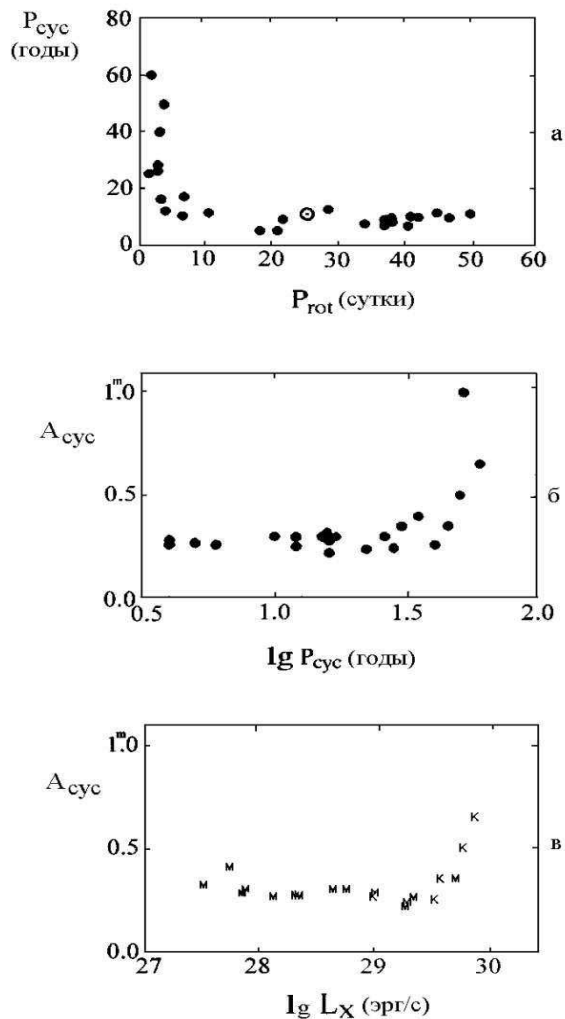


Рис. 3. Сопоставление характеристик долговременных вариаций блеска и глобальных свойств красных карликовых звезд: а) периоды осевого вращения и длительности циклов активности; б) длительности циклов активности и амплитуды оптического блеска; в) светимости в мягком рентгене К и М карликов и амплитуды оптического блеска (Бондарь, 2002)

за счет перекачки момента орбитального движения; обзор работ по этому вопросу представлен в моем докладе (Гершберг, 2004).

По московским, одесским и зоннебергским фототекам Н.И. Бондарь исследовала медленные вариации блеска 4 десятков поздних карликов с 1896 по 1992 год и нашла у 21 звезды вариации среднегодового блеска с амплитудами от 0^m3 до 1^m0 с характерными временами от 3 до 60 лет. У 8 звезд из этих 21 можно уверенно констатировать цикличность запятненности. На рис. 3 представлены сопоставления оцененных Бондарь параметров цикличности с другими характеристиками звезд. Согласно рис. 3а, большие длительности циклов активности имеют место у звезд с периодом вращения менее 5 суток. Рисунки 3б и 3в показывают, что амплитуды среднегодовых яркостей больше 0^m5 имеют звезды с длительностями циклов более 30 лет и с высокой светимостью в мягком рентгене.

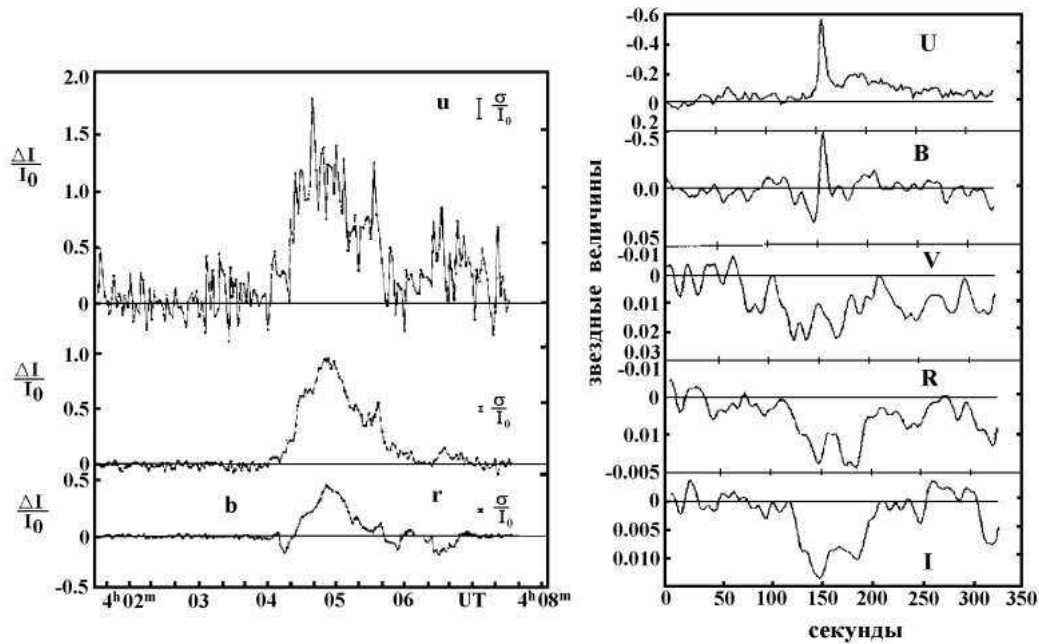


Рис. 4. Предвспышечные ослабления блеска EV Лас или “эмиссионный пик в абсорбционном блюдце”: слева – вспышка 9.10.73 по наблюдениям Флеша и Оливера (1974) в фиолетовых, синих, красных лучах; справа – вспышка 5.10.96 в полосах UVVRI (Жилияев и др., 1998)

6 Некоторые теоретические исследования

В рамках вероятностного метода В.В. Соболева в КрАО были выполнены расчеты эмиссионного Бальмеровского декремента для движущейся изотермической среды в отсутствии внешних радиативных полей (Гершберг, 1974аб). Эти расчеты дали первые оценки электронной плотности во вспышках и в спокойных хромосферах звезд. В.П. Гринин (1979) ввел в эти расчеты учет фотосферного излучения звезд и получил первые оценки размеров активных областей на вспыхивающих звездах, которые оказались во много раз превосходящими солнечные активные области. В рамках предложенной концепции нелокального радиативного взаимодействия В.П. Гринин (1980) дал объяснение инверсному Бальмеровскому декременту в некоторых вспышках.

Еще в конце 60-х годов на кривых блеска заметной доли вспышек были замечены предвспышечные ослабления блеска звезды до уровня ниже ее спокойного состояния. По фотоэлектрическим UVV-наблюдениям в Катании С. Кристалди, я и М. Родано (1980) обнаружили эффект покраснения звезды во время таких ослаблений блеска. В середине 70-х В.П. Гринин (1973, 1976) предложил и развил теорию этого эффекта – концепцию фотосферного “ожога” на самой ранней стадии развития вспышки. Эта модель оставалась практически единственной более 20 лет. Но в ходе наблюдений EV Лас в 1995 году Д.Н. Шаховской (Жилияев и др., 1998) уверенно обнаружил два компонента вспышки 5.10.96: традиционно регистрируемый эмиссионный компонент, который наиболее заметен в полосе U, и абсорбционный компонент, который более продолжителен, симметричен относительно эмиссионного компонента и его амплитуды растут в сторону больших длин волн – см. рис. 4. Теперь задача сводится не к объяснению непродолжительного предвспышечного ослабления блеска, а всей картины “эмиссионного пика в абсорбционном блюдце”; здесь теории еще нет и нет солнечных аналогов, но ретроспективно были найдены наблюдательные подтверждения такой картины еще в нескольких случаях.

В рамках представлений звездно-солнечной физики В.П. Гринин и В.В. Соболев (1977) провели расчеты звездных вспышек для уровня атмосферы с плотностью $10^{15} - 10^{17} \text{ см}^{-3}$, а В.П. Гринин и В.В. Соболев (1988, 1989) и В.П. Гринин, В.М. Лоскутов и В.В. Соболев (1993) рассчитали возбуждение звездных вспышек идущими сверху потоками энергичных частиц.

7 Кооперативные кампании 1986-95 годов

В 1986-95 годы КраО ежегодно организовывала кооперативные кампании наблюдений EV Lac – одной из самых ярких и активных вспыхивающих звезд северного неба. Имея склонение около $+44^\circ$, эта звезда в осеннее время может наблюдаться непрерывно в течение 8-9 часов, и идеология этих ежегодных кампаний состояла в получении длительного фотометрического патруля в течение нескольких ночей и параллельных спектральных, поляриметрических, инфракрасных, ультрафиолетовых и радионаблюдений. В ходе этих кампаний был получен ряд важных наблюдательных данных.

7.1 Оптические фотометрические результаты

Первоначально фотометрический патруль планировался как вспомогательный для фиксации моментов вспышек при других наблюдениях, но собранные фотометрические данные представили и самостоятельный интерес. В частности, довольно большие и однородные ряды наблюдений, полученных на АЗТ-11, содержали 227 вспышек и были использованы для фотометрического анализа вспышечного излучения. С этой целью в КраО был развит метод колориметрического анализа в применении к вспышкам, у которых во всех полосах UBVRi сигнал вспышки был достаточно велик. На восходящих ветвях, в максимумах блеска и в начале нисходящих ветвей ряда таких вспышек были определены показатели цвета U-B, B-V, V-R и V-I вспышечного излучения и эти величины были сопоставлены с теоретически рассчитанными показателями для чернотельного излучения различной температуры, синхротронного излучения с различными спектральными индексами энергетического спектра релятивистских электронов, излучения водородной плазмы с различными температурами, плотностями и оптическими толщинами в Бальмеровском континууме и излучения верхних слоев атмосферы звезды, нагретой потоками быстрых частиц. Сопоставление наблюдений с этими вычислениями позволило заключить, что: 1) в одиночку ни один из рассмотренных механизмов излучения ни на какой фазе вспышек не может воспроизвести наблюдаемые показатели цвета вспышечного излучения во всем UBVRi-диапазоне; 2) вблизи максимумов сильных вспышек их излучение в UVB-полосах довольно близко к чернотельному при температуре от 10000 до 25000 К; 3) в более длинноволновых областях в фазах максимумов и во всех UBVRi-полосах в фазах затухания возрастает вклад излучения водородной плазмы заметной оптической толщины (Абрамян и др., 1998а).

7.2 Поляриметрия

В рамках кооперативных кампаний измерения линейной поляризации излучения EV Lac было проведено Н.М. Шаховским с помощью одноканального поляриметра, установленного в касегреновском фокусе Шайновского рефлектора. В течение кампаний 1989 и 1991 годов была проведена поляриметрия 13 вспышек (Алексеев и др., 1994; Бердюгин и др., 1995). Анализ наблюдений в полосе U показал, что в самой мощной среди полученных из наблюдений вспышек, поляризация вспышечного излучения не превышает 2% при временном разрешении 10 с и 1% при разрешении 50 с. Эти оценки остаются наиболее уверенными среди всех полученных на сегодняшний день.

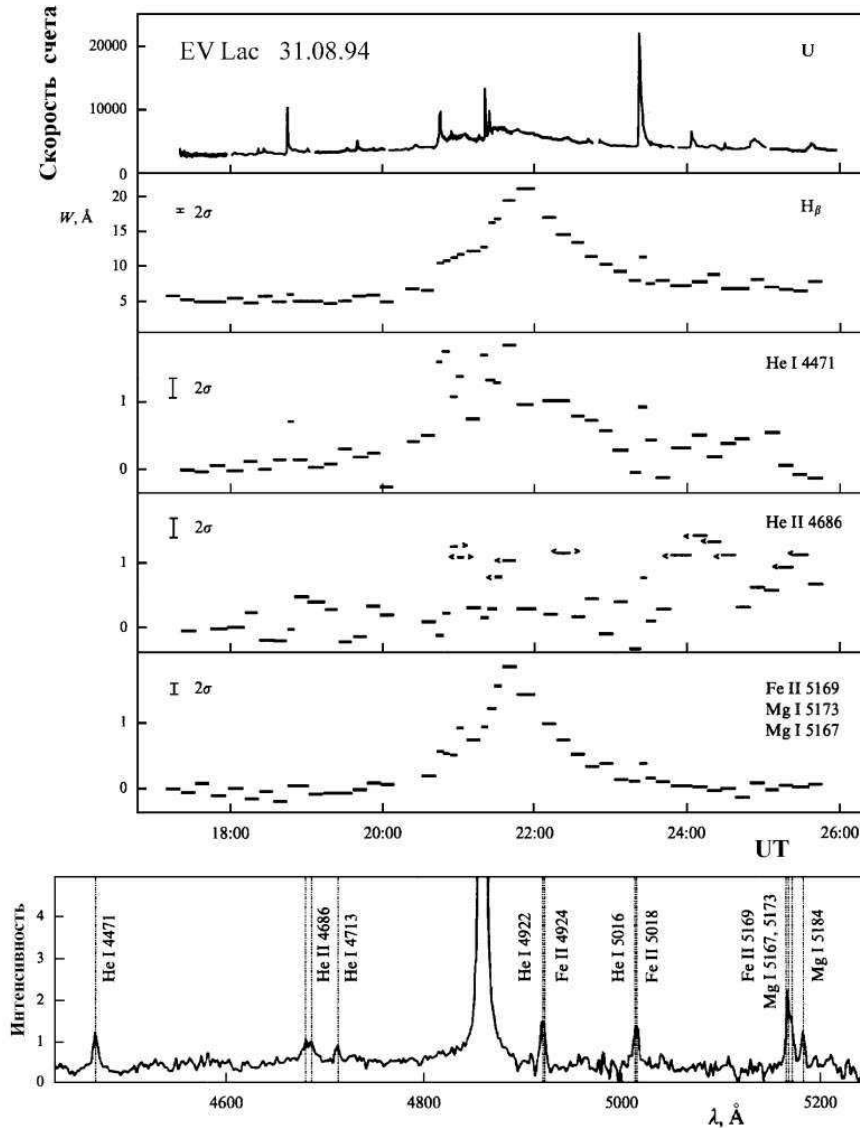


Рис. 5. Результаты фотометрического и спектрального патрулирования вспыхивающей красной карликовой звезды EV Lac в ночь с 31 августа на 1 сентября 1994 года в Крыму: кривая блеска в полосе U, эквивалентные ширины эмиссионных линий $H\beta$, He I $\lambda 4471\text{Å}$, He II $\lambda 4686\text{Å}$, бленды Fe II $\lambda 5169\text{Å} +$ Mg I $\lambda 5167\text{-}5173\text{Å}$ и суммарный спектр активных состояний звезды (Абранин и др., 1998б)

7.3 Спектральные исследования

Спектральные наблюдения EV Lac в ходе кооперативных кампаний проводились на 2.6 м Шайновском телескопе КраО и на НОРДИК телескопе на Канарских островах с изготовленным в КраО эшелльным спектрографом СОФИН. Остановлюсь только на трех наиболее интересных полученных при этом результатах.

Спектральные наблюдения EV Lac на ЗТШ в 1986 и 1987 годы дали толчок к разработке принципиально нового подхода к анализу запятненности звезд – построению ее зональной модели, о чем речь пойдет ниже.

Уникальные данные были получены на ЗТШ в ночь 31.8/1.9 1994 года – см. рис. 5. На верхней панели дана кривая блеска EV Lac в полосе U, которая обнаруживает полдюжины

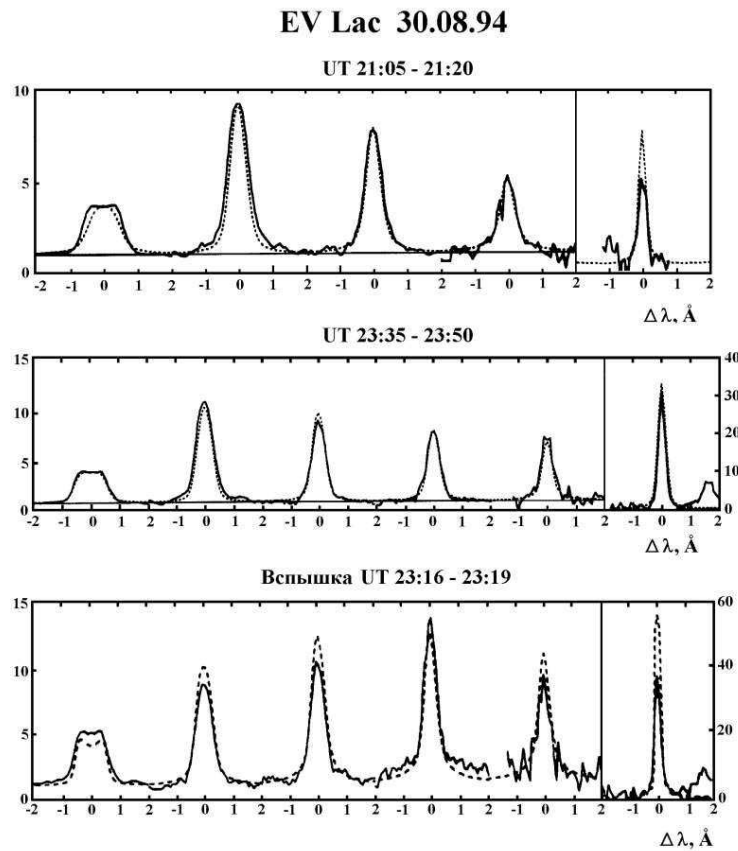


Рис. 6. Представление профилей эмиссионных линий в спектре EV Lac в спокойном состоянии звезды – верхняя и нижняя панели, и во время вспышки – нижняя панель (Алексеев и др., 2003)

быстрых вспышек различной амплитуды и почти трехчасовой повышенный блеск звезды. На следующей панели даны эквивалентные ширины $H\beta$, которые коррелируют с быстрыми вспышками, но доминирующим является усиление этой эмиссии во время длительного повышенного блеска звезды. На третьей панели даны эквивалентные ширины линии нейтрального гелия $\lambda 4471 \text{ \AA}$; сравнение этого графика с двумя предыдущими показывает, что эта гелиевая линия более четко реагирует на отдельные быстрые вспышки, чем $H\beta$, хотя коэффициент корреляции между этими двумя эмиссиями составляет 0.76. На пятой панели представлены эквивалентные ширины бленды FeII + MgI, коэффициент корреляции которых с $W_{H\beta}$ составляет 0.94.

Наиболее интересный и неожиданный результат был получен при патрулировании линии ионизованного гелия $\lambda 4686 \text{ \AA}$ – см. четвертую панель рис. 5. Формально, эта линия не коррелирует с рассмотренными выше эмиссиями: $r = 0.2 - 0.3$. Однако более внимательное рассмотрение показывает, что усиление этой эмиссии запаздывает на 15-30 минут относительно быстрых всплесков. Вторая интригующая особенность эмиссии HeII представлена на нижней панели рис. 5, на которой дан суммарный спектр всех активных состояний звезды, зарегистрированных в кампании 1994 года: суммарный профиль этой эмиссии расщеплен на два компонента с нормальной длиной волны у длинноволнового и со смещением на -400 км/с коротковолнового компонента. Возможно, что этот коротковолновый компонент соответствует движущимся структурам, аналогичным солнечным транзиентам, выбрасываемым в межпланетное пространство. Если это так, то мы имеем первое свидетельство нерадиативного взаимодействия вспыхивающей звезды с околосредой.

Благодаря участию Э.А. Барановского, были получены качественно новые результаты при количественном анализе спектральных наблюдений. По наблюдениям на ЗТШ были построены полуэмпирические модели спокойной хромосферы и вспышек звезды, которые в обоих случаях привели к обнаружению температурных плато (Барановский, Гершберг и Шаховской, 2001). Затем с помощью того же алгоритма были проанализированы эшеллограммы звезды, полученные на НОРДИК телескопе. Благодаря высокому спектральному разрешению, на спектрах звезды в моменты, когда широкополосная фотометрия свидетельствовала о спокойном состоянии EV Lac, были обнаружены широкие крылья водородных линий, свойственные вспышкам. Полученные данные были интерпретированы как перманентно происходящие на звезде микровспышки, и нами впервые были построены полуэмпирические модели этих явлений. В результате удалось неплохо представить профили водородных и кальциевых эмиссий – см. рис. 6. Мы нашли, что такие микровспышки ответственны за значительную долю интенсивности эмиссионных линий вне фотометрически регистрируемых вспышек, ранее приписываемой спокойной хромосфере (Алексеев и др., 2003).

7.4 Запятненность вспыхивающих звезд

Запятненность вспыхивающих звезд была открыта Дж. Кроном (1947). Но лишь после обнаружения П.Ф. Чугайновым (1966) пятен на VY Dra начались интенсивные исследования этого феномена. Большое число фотометрических наблюдений были получены и проанализированы в течение более 30 лет в предположении существования на звезде одного-двух больших холодных пятен, и были развиты различные алгоритмы для оценки их параметров – положений на звезде, размеров и относительной яркости. Но в 1986 и 1987 годы кооперативные наблюдения EV Lac обнаружили несостоятельность этой модели, в которой понижение общей яркости звезды должно сопровождаться увеличением амплитуды вращательной модуляции. Это противоречие наблюдений и традиционной в то время модели запятненности послужило отправной точкой для развитой в Крыму концепции зональной запятненности красных карликовых звезд, в которой вариации блеска звезды приписываются не одним-двумя большими пятнами, а двумя симметричным относительно экватора поясам запятненности с неравномерностью по долготе. В этой модели вращательная модуляция блеска звезды определяется двумя независимыми параметрами – общей площадью запятненных поясов и их равномерностью по долготе, и это обстоятельство снимает проблему, возникшую в результате наших наблюдений 1986-87 годов.

К настоящему времени в рамках этой модели И.Ю. Алексеев (2005) успешно представил UVVRI-наблюдения более 35 красных карликов в течение более 400 эпох. Между найденными параметрами рассчитанных моделей и глобальными звездными характеристиками найдены некоторые корреляции, в которые вписываются и соответствующие параметры солнечной запятненности. Очевидно, что в традиционной модели с одним-двумя пятнами ни о какой сходимости к солнечной картине запятненности говорить не приходится.

В дальнейшем зональная модель запятненности активных звезд получила интенсивное развитие после подключения к этим исследованиям московских теоретиков М.М. Кацовой и М.А. Лившица (Алексеев и др., 2001). В нашей совместной работе впервые был оценен суммарный дефицит излучения фотосфер таких звезд, обусловленный их запятненностью, и выдвинуто предположение о том, что потоки именно этой энергии приводят к перестройке верхних слоев атмосфер, к их существенному отличию от соответствующих слоев неактивных звезд.

7.5 Радионаблюдения

Еще в 60-е годы П.Ф. Чугайнов в кооперации с Б. Ловеллом проводил фотометрический патруль при первых радиоастрономических наблюдениях вспыхивающих звезд (Ловелл и Чугайнов, 1964). В 1992 году параллельные оптические и радионаблюдения в декаметровом диапазоне были начаты в кооперации с харьковскими радиоастрономами. В течение нескольких сезонов было зарегистрировано около полусотни всплесков, но после тщательного анализа лишь единицы из них

были отнесены к звезде. Трудно с уверенностью говорить об однозначном соответствии оптических и радиовсплесков, но представляется весьма вероятным совпадение периодов высокой активности звезд в этих двух диапазонах длин волн. Яркостная температура радиовсплесков оценивалась как 10^{18} К и для ее интерпретации привлекался механизм плазменных колебаний (Абранин и др., 2001).

7.6 Космические исследования

Система наведения советской космической станции АСТРОН позволяла наводиться на EV Lac, и в двух из шести сеансов мы зарегистрировали вспышки.

Во время сеанса 6.2.86 сильная вспышка EV Lac с $\Delta U \sim 3^m$ была зарегистрирована на АСТРОНЕ в диапазонах $\lambda\lambda$ 1536-1564 ÅÅ, $\lambda\lambda$ 2420-2448 ÅÅ и $\lambda\lambda$ 1700-6500 ÅÅ. При этих наблюдениях в ультрафиолете было достигнуто самое высокое в то время разрешение 0.61 с, и благодаря этому на кривой блеска вспышки в резонансной линии CIV λ 1550 Å впервые было обнаружено возгорание этой линии за 7 с до начала вспышки в континууме и обнаружен быстрый всплеск, отождествленный позднее с явлением типа солнечных взрывных процессов (Бурнашева и др., 1989).

Во время сеанса 24.2.86 очень короткая вспышка общей длительностью около 2.4 с была зарегистрирована на 4 последовательных кадрах (Гершберг и Петров, 1986). В то время реальность столь быстрых всплесков оставалась под вопросом, и лишь наши последующие наблюдения на 6 м телескопе CAO (Бескин и др., 1988), а также позже на двухканальных фотометрах в Армении и Мексике, подтвердили существование вспышек длительностью около 1 с.

8 Заключение

За прошедшие полвека изучения вспыхивающих звезд пройден путь от наивных и фантастических представлений к четкой концепции в рамках звездно-солнечной физики. На этом пути исследования в КраО внесли заметный вклад и в получение разнообразных данных наблюдений, и их статистический и физический анализ, и в организацию международной кооперации для таких исследований, и в развитие концепции в целом. Современное состояние всей рассматриваемой проблемы подробно изложено в моей монографии “Активность солнечного типа звезд главной последовательности” (Одесса, Астропринт, 2002), вышедшей недавно в расширенном английском варианте (“Solar-type activity in main sequence stars”, Heidelberg, Springer, 2005). Но на сегодняшний день эти исследования нельзя считать законченными. Помимо ряда частных вопросов, упоминавшихся выше, остаются нерешенными такие фундаментальные проблемы, как структура и временные вариации общих магнитных полей рассматриваемых звезд, механизм нагрева звездных атмосфер и механизм первоначального энерговыделения во вспышках. И тем не менее анализ всего многообразия явлений активности таких звезд приводит к отождествлению этих явлений с макроскопическими нелинейными процессами в замагниченной плазме, к концепции самоорганизации вещества на разных пространственных и временных масштабах: звезда в целом – это диссипативная система наибольшего масштаба, в которой за счет энергии вращения и конвективных движений самоорганизуются глобальные магнитные поля, а в структурах малых размеров реализуются диссипативные системы, приводящие к звездным вспышкам и другим явлениям, связанным с локальными магнитными полями.

Я благодарен А.В. Теребиж и Л.И. Филатовой за помощь в подготовке доклада к печати.

Литература

- Абранин Э.П. и др. (Abranin E.P., Bazelyan L.L., Alekseev I.Yu., Gershberg R.E. et al.) // *Astrophys. Space Sci.* 1998a. V. 257. P. 131.
Абранин Э.П. и др. (Abranin E.P., Alekseev I.Yu., Avgoloupis S., Bazelyan L.L. et al.) // *Astron. Astrophys. Trans.* 1998b. V. 17. P. 221.

- Абранин Э.П., Алексеев И.Ю., Базелян Л.Л., Браженко А.И. и др. // Радиофизика и радиоастрономия. 2001. Т. 6. С.89.
- Алексеев И.Ю. // Астрофизика. 2005. (в печати).
- Алексеев и др. (Alekseev I.Yu., Gershberg R.E., Plyin I.V., Shakhovskaya N.I. et al.) // Astron. Astrophys. 1994. V. 288. P. 502.
- Алексеев И.Ю., Гершберг Р.Е., Кацова М.М. и Лившиц М.А. // Астрон. журн. 2001. Т. 78. С. 556.
- Алексеев И.Ю., Барановский Э.А., Гершберг Р.Е., Ильин И.В. и др. // Астрон. журн. 2003. Т. 80. С. 342.
- Барановский Э.А., Гершберг Р.Е. и Шаховской. Д.Н. // Астрон. журн. 2001. Т. 78. С. 78 и С. 359.
- Бердюгин А.В., Гершберг Р.Е., Ильин И.В., Маланушенко В.П. и др. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1995. Т. 89. С. 81.
- Бескин Г.М., Неизвестный С.И., Плахотниченко В.Л., Пустильник Л.А. и др. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1988. Т. 79. С. 71.
- Бондарь Н.И. // Астрон. журн. 2002. Т. 79. С. 542.
- Бурнашева Б.А., Гершберг Р.Е., Зверева А.М., Ильин И.В. и др. // Астрон. журн. 1989. Т. 66. С. 328.
- Гершберг Р.Е. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1968. Т. 38. С. 177.
- Гершберг Р.Е. // Астрон. журн. 1974а. Т. 51. С. 552.
- Гершберг Р.Е. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1974б. Т. 51. С. 117.
- Гершберг Р.Е. // Mem. Soc. Astron. Ital. 1989. V. 60. P. 263.
- Гершберг Р.Е. // "Multi-wavelength investigations of solar activity". Proc. IAU Symp. 223. Eds. A.V. Stepanov, E.E. Venevolenskaya and A.G. Kosovichev. Cambridge Univ. Press. 2004. P. 675.
- Гершберг Р.Е., Могилевский Э.И. и Обридко В.Н. // Кинематика и физика небесных тел. 1987. Т. 3. С. 3.
- Гершберг Р.Е. и Чугайнов П.Ф. // Астрон. журн. 1966. Т. 43. С. 1168.
- Гершберг Р.Е. и Пикельнер С.Б. // Comments Astrophys. Space Physics. 1972. V. 4. P. 113.
- Гершберг Р.Е. и Шаховская Н.И. // Astrophys. Space Sci. 1983. V. 95. P. 235.
- Гершберг Р.Е. и Петров П.П. // "Вспыхивающие звезды и родственные объекты" Ред. Л.В. Мирзоян. Изд-во АН Армянской ССР. 1986. Ереван. С. 37.
- Гринин В.П. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1973. Т. 48. С.58.
- Гринин В.П. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1976. Т. 55. С. 179.
- Гринин В.П. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1979. Т. 59. С. 154.
- Гринин В.П. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1980. Т. 62 С. 54.
- Гринин В.П. и Соболев В.В. // Астрофизика. 1977. Т. 13. С. 587.
- Гринин В.П. и Соболев В.В. // Астрофизика. 1988. Т. 28. С. 355.
- Гринин В.П. и Соболев В.В. // Астрофизика. 1989. Т. 31. С. 527.
- Гринин В.П., Лоскутов В.М. и Соболев В.В. // Астрон. журн. 1993. Т. 70. С. 350.
- Жиляев и др. (Zhilyaev V.E., Verlyuk I.A., Romanyuk Ya.O., Svyatogorov O.A. et al.) // Astron. Astrophys. 1998. V. 334. P. 931.
- Касинский В. // Кинематика и физика небесных тел. 2005. Приложение N 5. С. 105.
- Касинский В.В. и Сотникова Р.Т. // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. 1989. Выпуск 87. С. 43.
- Коротин С.А. и Краснобабцев В.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1985. Т. 73. С. 131.
- Кристальди и др. (Cristaldi S., Gershberg R.E. and Rodono M.) // Astron. Astrophys. 1980. V. 89. P. 123.
- Крон (Kron G.E.) // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1947. V. 59. P. 261.
- Курочка Л.Н. // Астрон. журн. 1987. Т. 64. С. 443.
- Ловелл и Чугайнов (Lovell V. and Chugainov P.F.) // Nature. 1964. V. 203. P. 1213.
- Маллэн (Mullan D.J.) // Astron. Astrophys. 1975 V. 40 P. 41.
- Осканян В.С. и Теребиж В.Ю. // Астрофизика. 1971. Т. 7. С. 83.
- Флеш и Оливер (Flesh T.R. and Oliver J.P.) // Astrophys. J. 1974. V. 189. P. 127.
- Чугайнов П.Ф. // Info.Bull.Var.Stars. 1966. N 122.

- Чугайнов П.Ф. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1972. Т. 46. С. 14.
Шаховская Н.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1974. Т. 51. С. 92.
Шаховская Н.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1975. Т. 53. С. 165.