

УДК: 524.312/.318

ПОИСК ПЕРЕМЕННОСТИ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ШИРИНЫ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ He I D_3 У НЕКОТОРЫХ ЗВЕЗД ПОЗДНЕГО СПЕКТРАЛЬНОГО ТИПА

Т.Н.ТАРАСОВА

Поступила 3 апреля 2005

Принята к печати 12 августа 2005

Получены спектры с высоким разрешением и большим отношением сигнал/шум в области спектральной линии He I D_3 для 13 карликов спектрального типа от A5 до K0. У пяти звезд была исследована переменность эквивалентной ширины спектральной линии на протяжении нескольких сотен дней. Показано, что значимая переменность наблюдается только у одной звезды - θ Cug.

1. *Введение.* Переменность хромосферной активности звезд спектральных типов G, K и позднего F достаточно хорошо изучена. Получены многолетние ряды наблюдений хромосферной эмиссии в спектральных линиях H и K Ca II для более чем 100 звезд [1]. Эти данные позволили изучить характер долговременной переменности активности у этих звезд, а у некоторых звезд обнаружить циклы активности, подобные 11-летнему солнечному. Кроме того, для многих звезд проводились исследования переменности, связанной с вращением, для них получены периоды вращения и свидетельства дифференциального вращения у некоторых звезд.

Переменность у звезд позднего спектрального типа A и раннего спектрального типа F практически не исследовалась по двум причинам. Во-первых, принято считать, что мелкомасштабные структуры активных областей, которые формируются в случае тонкой конвективной оболочки, более равномерно распределены по поверхности F-звезды, и поэтому переменность, связанная с вращением не наблюдается. Во-вторых, у звезд позднего спектрального типа A и раннего спектрального типа F отсутствуют ряды наблюдений, так как спектральные линии H и K Ca II, которые являются наиболее удобными для наблюдений за хромосферной активностью, менее эффективны при исследовании звездных хромосфер у этих звезд. Эффективность снижается из-за уменьшения контраста между излучением в непрерывном спектре и эмиссионным излучением в линиях H и K Ca II при повышении

температуры поверхности звезды. Активность хромосфер у таких звезд исследовалась преимущественно в ультрафиолетовом диапазоне и с Земли в линии He I D_3 . Но линия гелия является слабой и, кроме того, она блендирована теллурическими спектральными линиями и линиями фотосферного спектра звезды. Поэтому в процессе обработки накапливаются большие ошибки, не позволяющие выделить физическую переменность. Основные ошибки связаны с процедурой проведения континуума. Точность проведения континуума зависит от соотношения сигнал/шум. В этой работе были получены спектры с очень высоким отношением сигнал/шум, что позволило исследовать переменность эквивалентной ширины линии гелия у нескольких звезд.

Несмотря на то, что наблюдения гелия проводились неоднократно и разными авторами [2-14], переменность эквивалентной ширины линии He I D_3 изучалась всего несколькими исследователями и преимущественно у звезд с активностью солнечного типа. В результате, переменность была обнаружена всего у трех звезд $\kappa \text{ Ceti}$ (G5) [3], $\chi^1 \text{ Ori}$ [5,8] и 70 OphA [8], но только у одной звезды $\chi^1 \text{ Ori}$ она наблюдалась дважды разными исследователями.

У звезд спектрального типа F переменность спектральной линии He I D_3 практически не изучалась. Была попытка найти ее у трех ближайших звезд [14], но полученные результаты не показали значимой переменности.

В данной работе была продолжена попытка обнаружить переменность хромосферного излучения в спектральной линии He I D_3 у трех звезд спектрального типа F: $\rho \text{ Gem}$, $\theta \text{ Cyg}$ и $\theta \text{ Boo}$ и у звезды $\xi \text{ BooA}$ спектрального типа G8, а также подтвердить существование переменности у карликов $\chi^1 \text{ Ori}$ (G0).

Кроме того, в работе представлены измерения эквивалентной ширины линии гелия для 13 звезд спектрального типа от A5 до G8. Для большинства звезд, представленных в данной работе, проводились измерения эквивалентной ширины триплета гелия He I D_3 другими исследователями, поэтому было интересно рассмотреть возможность существования долговременной переменности линии гелия у таких звезд.

2. Наблюдения и обработка. Наблюдения проводились на ЗТШ в фокусе Кудэ, где расположен классический спектрограф АСП-14 [15]. Спектрограф оснащен ПЗС-матрицей фирмы Electronix форматом 1024 x 280 пиксел. В качестве диспергирующего элемента используется дифракционная решетка 600 шт/мм. Наблюдения линии D_3 проводились во втором порядке решетки, где максимальная концентрация света приходится на область 6000 Å. Обратная дисперсия в этом случае составляла 3 Å/мм (0.06 Å/пиксел).

Триплет D₃ является слабой спектральной линией, поэтому для наблюдения необходимо высокое разрешение и большое отношение сигнал/шум. В связи с этим входная щель (0.4 мм или 0".8) была выбрана так, чтобы соотношение между разрешением и отношением сигнал/шум было оптимальным. В таком случае спектральное разрешение составило 30000, а отношение сигнал/шум в зависимости от погодных условий получалось не ниже 200. Кроме того, для увеличения отношения сигнал/шум проводились последовательно две или три экспозиции одного и того же спектрального участка. Время отдельной экспозиции составляло от 25 до 40 минут. После калибровки по длинам волн спектры суммировались. Методом корреляционного анализа определялось возможное за время экспозиции смещение между спектрами. Перед суммированием спектров смещение вычиталось. В результате отношение сигнал/шум получалось более 300, а для наиболее ярких звезд достигало 400 и более.

Наблюдение линии D₃ у холодных звезд проблематично не только потому, что линия слабая, и для определения эквивалентной ширины необходимо высокое разрешение и большое отношение сигнал/шум. Линия D₃ также блендирована теллурическими линиями, главным образом парами воды. Кроме того, в спектрах более холодных звезд появляются бленды железа и хрома. А у карликов спектрального типа более раннего, чем F5 линия "замывается" вращением. Для того, чтобы исключить влияние теллурических бленд, были получены в той же спектральной области несколько спектров быстровращающейся звезды α Aql с большим отношением сигнал/шум (~200). Фотосферные линии в спектре такой звезды сильно уширены. Это дает возможность получить теллурический спектр после вычитания псевдоконтинуума из спектра быстровращающейся звезды. Теллурические спектры суммировались, в результате был получен спектр, в котором отношение сигнал/шум составило около 700. Этот спектр использовался для исключения теллурических линий из спектров исследуемых звезд. Совмещение спектра звезды и теллурического спектра осуществлялось корреляционным методом. Первичная обработка спектров проводилась по стандартной методике, включающей удаление следов космических частиц, деление на "плоское поле" и вычитание фона неба. Нормирование спектров к уровню континуума и построение дисперсионной кривой проводилось с помощью программы SPE, которая была разработана в Крымской астрофизической обсерватории С.С.Сергеевым и В.В.Румянцевым. Калибровка по длинам волн осуществлялась с помощью спектра сравнения торий-аргоновой лампы. При построении спектра учитывалось смещение длины волны спектральной линии, связанное с лучевой скоростью звезды.

3. *Обсуждение результатов.* На рис. 1a, b, c представлены спектры всех исследуемых в данной работе звезд от спектрального типа A5 до G8,

после того, как из них были удалены теллурические линии. На рисунках линия гелия отмечена стрелочкой. Триплет He I D₃ в спектрах звезд, начиная с раннего спектрального типа F, блендирован линией железа, а у звезд позднего спектрального типа G и раннего K, еще и линией хрома. Для отождествления бленд строились синтетические спектры. Синтетические спектры для каждой звезды рассчитывались с помощью программы MERSEN [16], с использованием базы данных VALD [17]. Бленды исключались делением наблюдаемого спектра звезды на синтетический спектр. На рис.2 показаны для сравнения линия гелия до и после того, как из спектра были исключены бленды. Стрелочкой отмечена бленда в крыле линии HeI λ 5876.

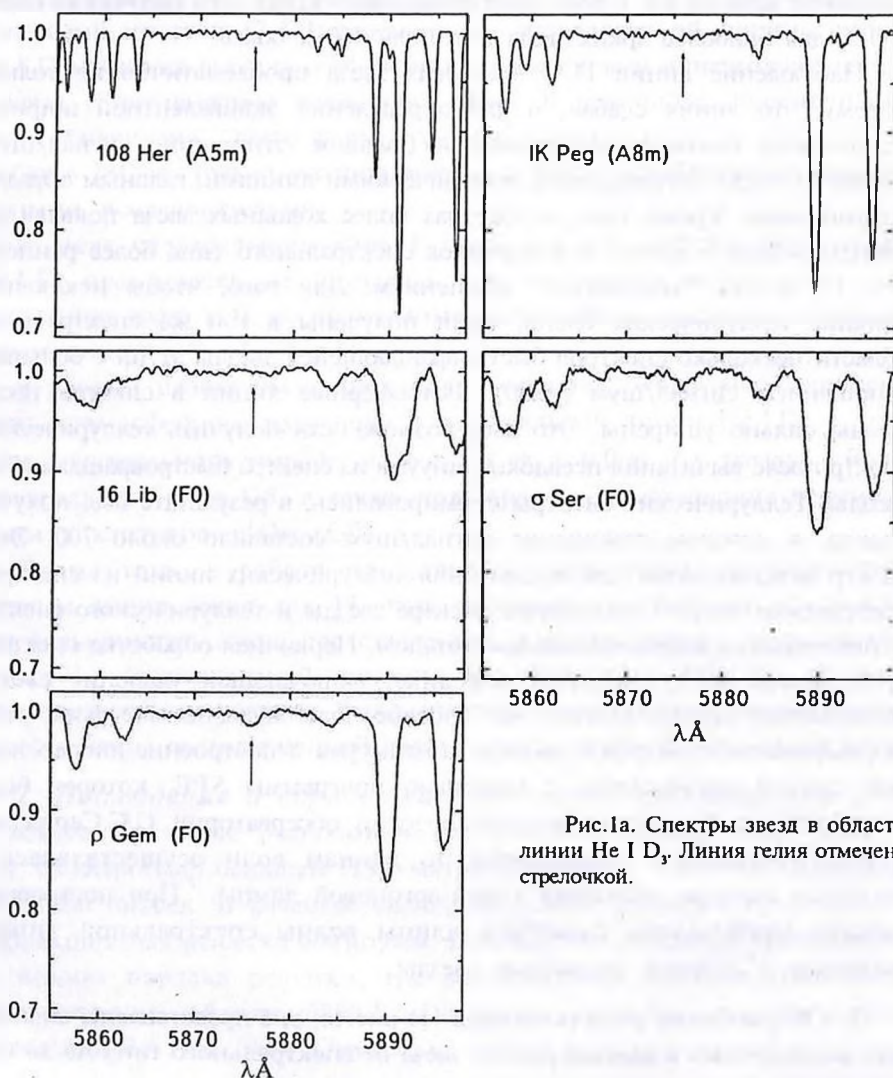


Рис.1а. Спектры звезд в области линии He I D₃. Линия гелия отмечена стрелочкой.

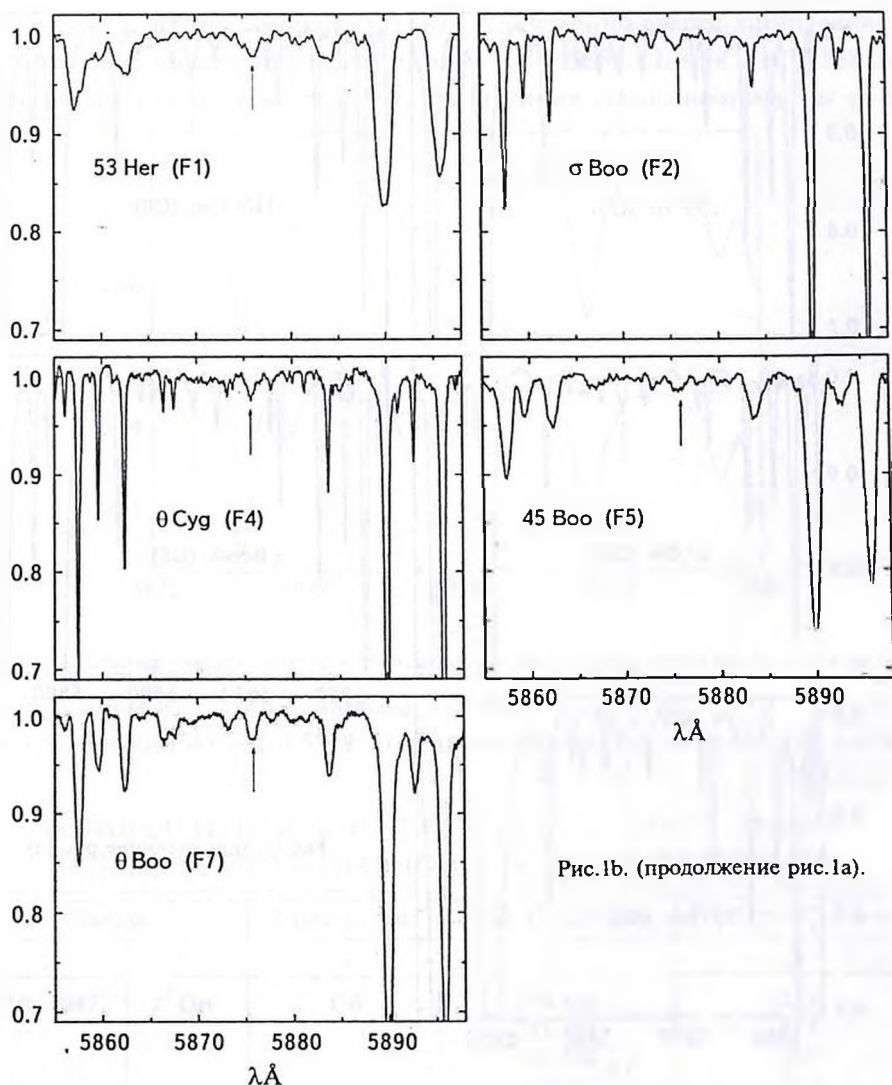


Рис.1b. (продолжение рис.1a).

На рис.1a, b, с видно, что линия гелия присутствует у карликов спектрального типа от F0 (ρ Gem, σ Ser) до K0 (70 OphA). Результаты измерения эквивалентной ширины спектральной линии He I λ 5876 представлены в табл.1.

Для пяти звезд χ^1 Ori, ξ BooA, ρ Gem, θ Boo и θ Cyg было получено несколько измерений. Это позволило нам рассмотреть вопрос о существовании переменности эквивалентной ширины. Предпосылкой к этому являются измерения других авторов, которые наблюдали переменность как временную, так и связанную с вращением у звезды χ^1 Ori [11,14] и заподозрили ее существование у звезды ξ BooA.

Значения эквивалентной ширины спектральных линий, представленные

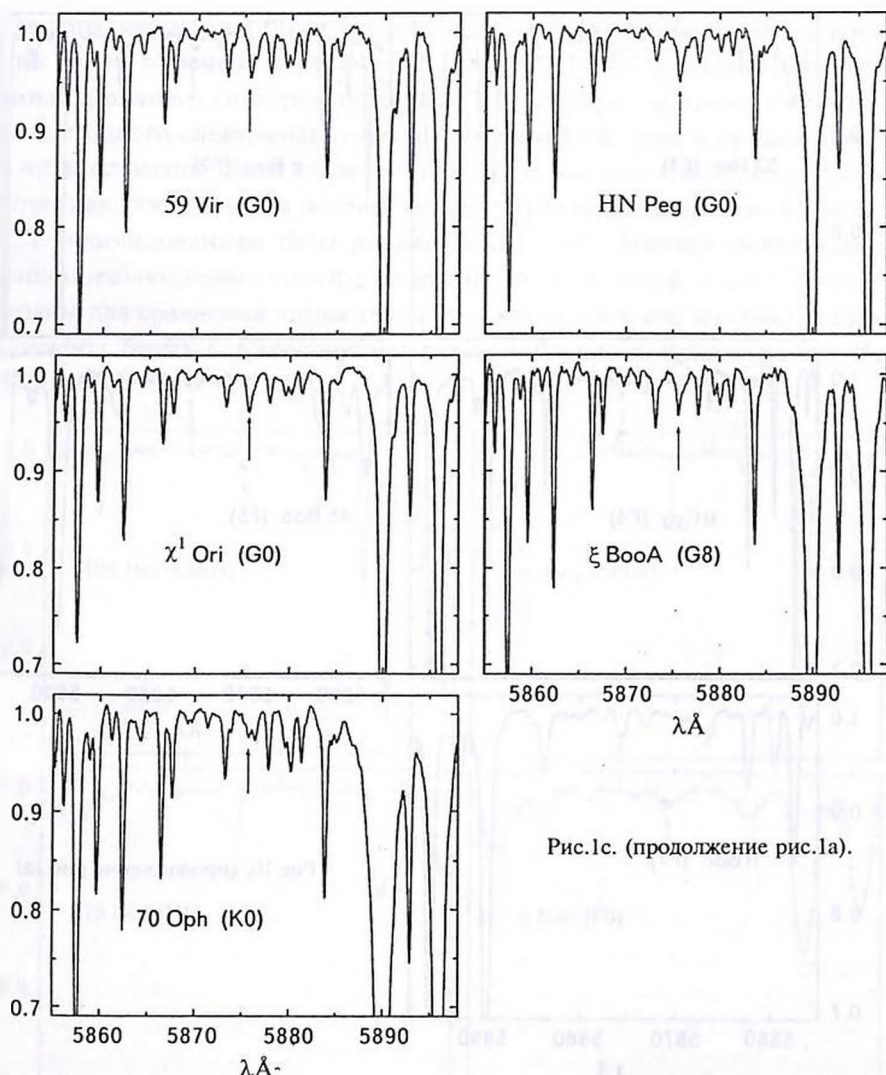


Рис.1с. (продолжение рис.1а).

в табл.1, указывают на возможность существования переменности еще у ρ Gem и θ Cyg. Однако, чтобы ответить на вопрос, является ли эта переменность физической или же она связана с погрешностями измерения, у этих звезд были определены эквивалентные ширины фотосферных спектральных линий. Фотосферные линии не показывают переменности той же интенсивности, что и линия гелия у звезд солнечного типа. Поэтому вариации измеренных значений эквивалентной ширины у таких линий мы рассматривали как погрешности измерения.

Фотосферные линии отбирались, по возможности, соседние с линией гелия и так, чтобы их интенсивность была близка к интенсивности линии D₃. У холодных звезд χ^1 Ori и ξ BooA - это линии FeI λ 5878 и

ПЕРЕМЕННОСТЬ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ШИРИНЫ ЛИНИИ He I D₃ 559

FeI λ 5881. У θ Cyg - линия FeI λ 5878 существенно слабее линии гелия, и потому мы вместо нее взяли линию FeI λ 5855. Линия FeI λ 5881 у этой звезды имеет ту же глубину, что и линия гелия, поэтому мы ее и

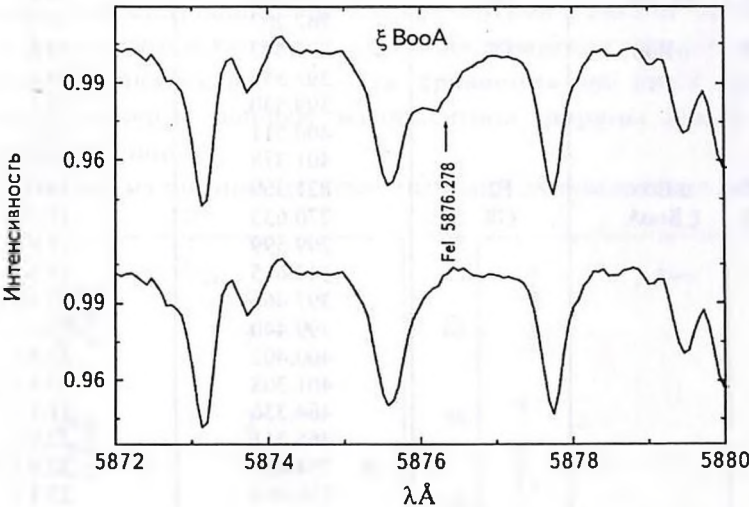


Рис.2. Пример участка спектра в области линии He I D₃ до и после исключения бленд. использовали. Для звезды θ Boo мы выбрали линию TiI λ 5899 и линию FeI λ 5848. Эти линии расположены далеко от линии

Таблица 1

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ШИРИНА СПЕКТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ
He I D₃ У ЗВЕЗД ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Звезда		Спектр. тип	HJD (2452000+)	W_{λ} (HeID ₃) [m Å]
1	2	3	4	5
HR 2047	χ^1 Ori	G0	270.439	25.2
			281.481	27.5
			298.480	28.0
			299.462	27.0
			313.443	26.6
			335.271	25.2
			336.291	25.3
			337.277	28.2
			338.317	27.7
			673.417	26.1
HR 2852	ρ Gem	F0	925.521	25.4
			313.511	32.1
			335.355	30.0
			755.338	37.8
			761.317	35.6
			762.311	43.6
			763.296	42.8
			779.288	48.2

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5
HR 5011	59 Vir	G0	270.560	29.8
			762.207	36.2
HR 5404	0 Boo	F7	335.443	29.6
			397.555	29.8
			399.530	29.1
			400.511	36.2
			401.378	27.7
HR 5447	σ Boo	F2	821.369	19.0
HR 5544	ξ BooA	G8	270.633	21.9
			299.599	21.8
			313.615	24.3
			397.466	25.3
			399.440	25.5
			400.402	22.4
			401.308	23.8
			464.336	21.7
			465.311	22.9
			754.424	22.9
			756.463	25.1
			820.310	19.8
			821.312	20.8
HR 5570	16 Lib	F0	820.370	-
HR 5634	45 Boo	F5	819.376	29.7
HR 6093	σ Ser	F0	818.387	29.2
HR 6279	53 Her	F0-2	782.344	38.4
HR 6752	70 OphA	K0	754.543	17.8
			756.545	18.8
HR 7469	0 Cyg	F4	447.502	19.8
			450.479	16.1
			451.486	23.4
			511.378	20.3
			512.484	11.0
			513.509	17.9
			514.505	14.1
			519.501	26.9
			572.332	24.6
HR 8314	HN Peg	G0	449.498	33.8
			486.476	38.6

гелия, практически по краям наблюдаемой спектральной области, но имеют такую же глубину. Звезда ρ Gem одна из наиболее быстро вращающихся в нашем списке звезд, поэтому линии сильно уширены из-за вращения. Для сравнения мы использовали спектральные линии BaII λ 5854, FeI λ 5884.

В качестве ошибки для фотосферных линий была взята средняя ошибка из указанных выше пар, эквивалентные ширины которых представлены

на рис.3. На этом рисунке представлены значения эквивалентной ширины линий для всех звезд, у которых в данной работе была заподозрена переменность эквивалентной ширины. Черными кружочками отмечены значения, соответствующие линии гелия, другими значками - фотосферные линии. По оси ординат отложены значения эквивалентной ширины, по оси абсцисс - юлианская дата. Для сравнения на рис.3 приведены среднеквадратичные ошибки эквивалентной ширины линии гелия и фотосферной линии.

Как видно из рисунка, разброс значений эквивалентной ширины D₃

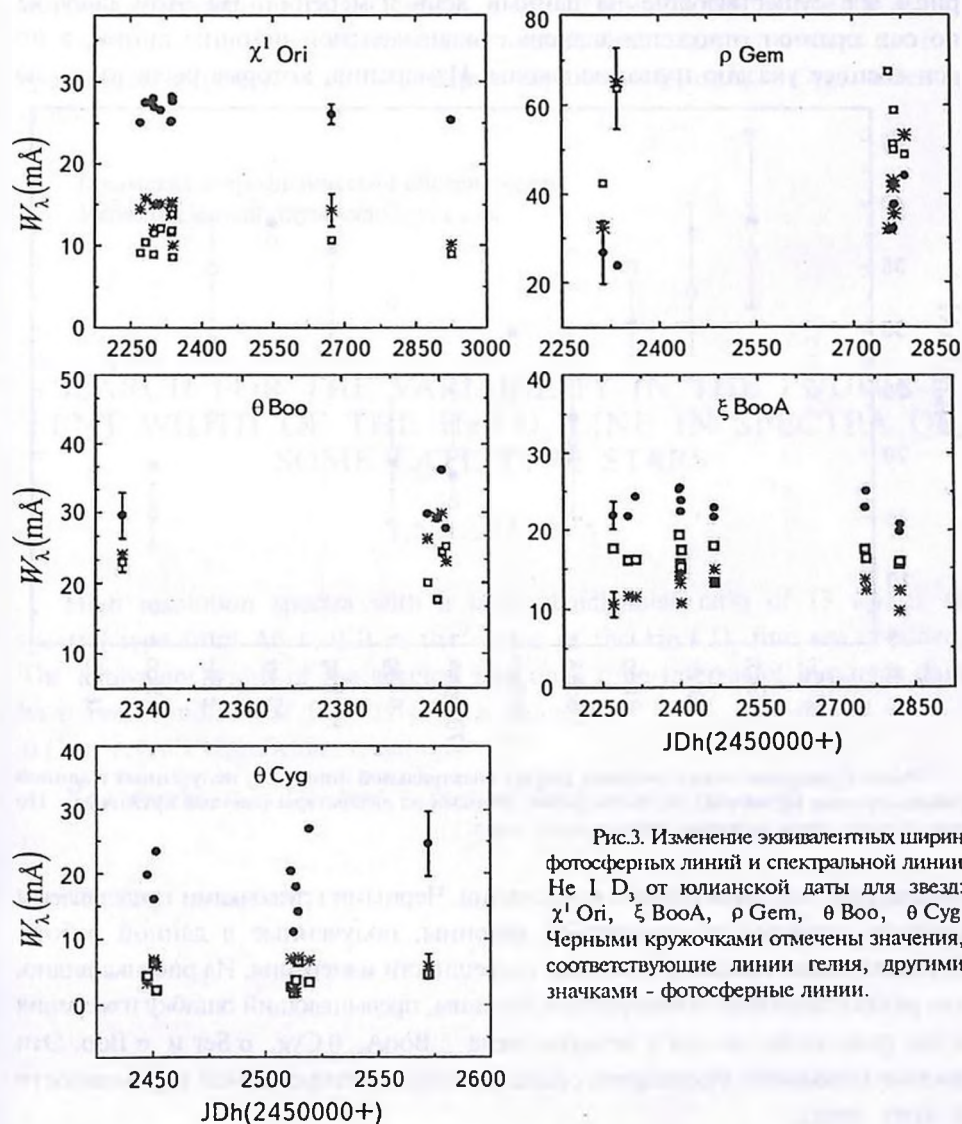


Рис.3. Изменение эквивалентных ширин фотосферных линий и спектральной линии He I D₃ от юлианской даты для звезд: χ¹ Ori, ξ BooA, ρ Gem, θ Boo, θ Cyg. Черными кружочками отмечены значения, соответствующие линии гелия, другими значками - фотосферные линии.

превышает разброс эквивалентной ширины фотосферных линий более чем в два раза у одной звезды θ Cyg. Таким образом, проведенный анализ ошибок показывает, что переменность эквивалентной ширины линии гелия наблюдается только у одной звезды - θ Cyg.

Измерения эквивалентной ширины линии D_3 для всех представленных в данной работе звезд, за исключением 45 Boo, проводились ранее другими исследователями. Поэтому интересно было выяснить, наблюдается ли у них долговременная переменность эквивалентной ширины линии на шкале времени в несколько лет. Для наглядности мы представили на рис.4 все существующие на данный день измерения. На этом рисунке по оси ординат отложены значения эквивалентной ширины линии, а по оси абсцисс указано название звезды. Измерения, которые были взяты из

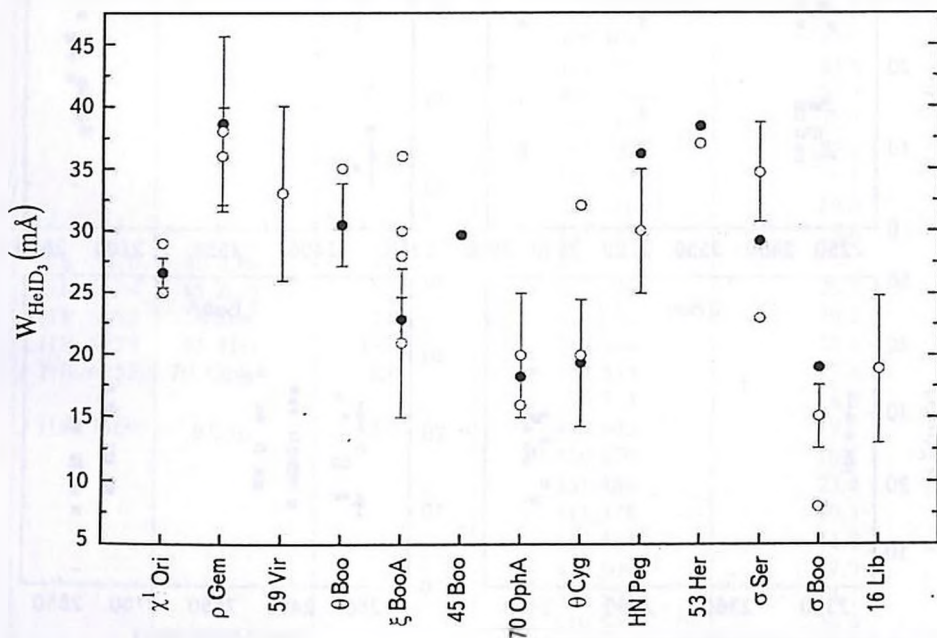


Рис.4. Сравнение эквивалентных ширин спектральной линии D_3 , полученных в данной работе (темные кружочки), со значениями, взятыми из литературы (светлые кружочки). По оси абсцисс даны названия исследуемых звезд.

литературы, показаны белыми кружочками. Черными кружочками представлены средние значения эквивалентной ширины, полученные в данной работе. Вертикальными линиями показаны погрешности измерения. Из рисунка видно, что разброс значений эквивалентной ширины, превышающий ошибку измерения в два раза, наблюдается у четырех звезд ξ BooA, θ Cyg, σ Ser и σ Boo. Эти данные позволяют заподозрить существование долговременной переменности у этих звезд.

4. *Заключение.* Проведены измерения эквивалентной ширины линии гелия у 13 звезд, принадлежащих Главной последовательности, спектрального типа от A5 до K0. Линия гелия уверенно регистрируется у звезд спектрального типа от F0 до K0.

Минимальное значение эквивалентной ширины (11 mÅ) у θ Cyg и максимальное (48.2 mÅ) у ρ Gem отличается почти в 5 раз. Обе звезды принадлежат раннему спектральному типу F. Изучение вариаций эквивалентной ширины спектральной линии гелия у пяти звезд показало, что только у одной звезды θ Cyg спектрального типа F4, наблюдается значимая переменность. У звезды χ^1 Ori переменность не обнаружена.

Результаты измерений позволяют заподозрить существование долговременной переменности у четырех карликов ξ BooA, θ Cyg, σ Ser и σ Boo.

Крымская астрофизическая обсерватория,
Украина, e-mail: taya@crao.crimea.ua

SEARCH FOR THE VARIABILITY IN THE EQUIVALENT WIDTH OF THE He I D₃ LINE IN SPECTRA OF SOME LATE-TYPE STARS

T.N.TARASOVA

High resolution spectra with a large signal/noise ratio of 13 dwarfs of spectral type from A5 to K0 in the region of the He I D₃ line are obtained. The equivalent width of the spectral line on a time interval of hundreds days have been studied for five stars. It is found that only one of the stars - θ Cyg reveals significant variations.

Key words: *stars:late-type - spectral lines: equivalent width*

ЛИТЕРАТУРА

1. *S.L.Baliunas, R.A.Donahue, W.H.Soon et al.*, *Astrophys. J.*, **438**, 269, 1995.
2. *O.C.Wilson, M.K.Aly*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **68**, 149, 1956.
3. *D.L.Lambert, G.T.O'Brien*, *Astron. Astrophys.*, **128**, 110, 1983.
4. *S.C.Wolff, J.N.Heasley*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **99**, 957, 1987.
5. *A.C.Danks, D.L.Lambert*, *Astron. Astrophys.*, **148**, 293, 1985.
6. *S.C.Wolff, J.N.Heasley, J.Varsik*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **97**, 707, 1985.
7. *S.C.Wolff, A.M.Boesgaard, T.Simon*, *Astrophys. J.*, **310**, 360, 1986.
8. *G.Cutispoto, M.S.Giampapa*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **100**, 1452, 1988.
9. *S.H.Saar, J.Huovelin, R.A.Osten, A.G.Shcherbakov*, *Astron. Astrophys.*, **326**, 741, 1997.
10. *R.J.Garcia-Lopez, R.Rebolo, J.E.Beckman, C.D.McKeith*, *Astron. Astrophys.*, **273**, 482, 1993.
11. *B.L.Rachford*, *Astrophys. J.*, **486**, 994, 1997.
12. *B.L.Rachford*, *Astrophys. J.*, **505**, 255, 1998.
13. *B.L.Rachford*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **315**, 24, 2000.
14. *B.L.Rachford*, *Bull. of the American Astron. Soc.*, **30**, 1396, 1998.
15. *А.С.Васильев*, *Изв. Крымской астрофиз. обсерв.*, **55**, 224, 1976.
16. *В.В.Цымбал* (частное сообщение).
17. *F.Kupka, N.E.Piskunov, T.A.Ryabchikova et al.*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **138**, 119, 1999.