

## ASTROFİZİKA

ИССЛЕДОВАНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО  
СПЕКТРА МОЛОДЫХ ЗВЕЗД  
I. МЕТОД ОБРАБОТКИ СПЕКТРОГРАММ  
АРХИВА IUEН.З.ИСМАИЛОВ<sup>1,2</sup>, Ф.Н.АЛИМАРДАНОВА<sup>2</sup>,  
О.В.ХАЛИЛОВ<sup>2</sup>, Г.Р.БАХАДДИНОВА<sup>2</sup>Бакинский Государственный Университет<sup>1</sup>Шамахинская Астрофизическая обсерватория НАН Азербайджана<sup>2</sup>  
box1955p@yahoo.com

В работе приведены результаты исследования архивных International Ultraviolet Explorer (IUE) спектрограмм около 40 стандартных звезд карликов, полученных в спектральном диапазоне  $\lambda\lambda$  1200-3000 Å. Были измерены глубины и полуширины до 20 избранных спектральных линий у каждой звезды в диапазоне спектральных классов В0-М0. Измерения показали, что полуширины линий  $\Delta\lambda_{1/2}$  определяются точностью  $\pm 1.5 \text{ Å}$  (для SWP камеры) и  $\pm 3 \text{ Å}$  (для LWP и LWR камер), интенсивности линий определяются точностью до 10%, вычисленные по этим параметрам эквивалентные ширины – до 15-20 %.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы благодаря архиву спутника IUE выполняется активное исследование ультрафиолетового (УФ) спектра молодых звезд типа Т Тельца и родственных объектов. Интерес к УФ спектрам молодых звезд обусловлено тем, что в этой части спектра наблюдаются важнейшие специфические характеристики у этих звезд, а именно: 1) УФ избыточное излучение в континууме [1, 2], 2) линии ионов высокого возбуждения, такие, как CIV, HeII, NV, OIII и др., 3) интенсивные линии молекулы H<sub>2</sub>.

Избыточное излучение в континууме объяснялось выделением гравитационной энергии падающего вещества на поверхность звезды в виде излучения. В частности, в [3] было показано, что избыточное излучение в УФ части может образоваться у внутренних граничных слоев аккреционного диска при темпе аккреции  $3 \cdot (10^{-7}-10^{-9}) M_{\odot}/\text{год}$ .

В настоящее время стало ясно, что такая простая модель не может объяснить часто наблюдаемые у молодых звезд периодические изменения блеска и спектра. Значения наблюдаемых периодов в основном расположены в интервале 2-10 дней. Такие периодические изменения можно объяснить модуляцией блеска вследствие осевого вращения звезды при неоднородной ее поверхности,

покрытый локальными холодными пятнами (см. например, [4]). У некоторых звезд фотометрические наблюдения показали, что изменение блеска в  $U$  полосе значительно превосходит изменений в полосах  $R$  и  $I$ . Такие изменения блеска у молодых звезд проще объяснить горячим пятном [5]. Спектроскопические признаки в форме заполнения абсорбционных линий непрерывной эмиссией у классических звезд типа Т Тельца (CTTS) также может быть результатом возникновения горячего пятна [6, 7]. Отсюда возникла идея локального горячего пятна, которая может быть образована на поверхности звезды в результате ударной аккреции [8-10]. Далее были выполнены важные теоретические работы, описывающие структуры аккреционного удара в модели магнитосферной аккреции [11, 12].

С наблюдательной точки зрения, по сути, невозможно различить результаты явления аккреционного удара с результатами звездной вспышки. Если вещество падает на поверхность звезды через каналы магнитных силовых линий, то мы будем наблюдать корреляцию УФ и оптического излучения. Например, корреляция между излучениями в УФ и оптической части был найден для BP Tau и RU Lup [13, 14]. Корреляция между УФ и оптическим излучением для некоторых звезд был исследован также по архивным данным International Ultraviolet Explorer (IUE) [15]. Показано, что при вспышечной активности молодых звезд также можно наблюдать существование корреляции между УФ и оптическими излучениями (см. например, [16]). Следовательно, как при аккреции с переменным темпом, так и при вспышечной активности звезды трудно выявить периодичность вследствие осевого вращения центральной звезды. Таким образом, хотя и модель магнитосферной аккреции для CTTS может объяснить многие особенности спектра, с наблюдательной точки зрения для проверки этой модели количество выполненных работ к настоящему времени недостаточна.

К настоящему времени архив спектров IUE является обширным источником для исследований УФ части спектра молодых звезд. Первый атлас спектральных линий для области 1175-2000 Å для молодых звезд был составлен Валенти и др. [17] в первой их статье. Далее, по полученным потокам излучения в линиях эти авторы исследовали модели магнитосферной аккреции [18] (статья II). В работе [19] (статья III) авторы составили атлас спектральных линий для области 2000-3000 Å.

В вышеперечисленных работах исследованы общие характеристики УФ эмиссионных линий молодых звезд. Целью данной работы является апробация и освоение методики измерений параметров спектральных линий по IUE спектрам стандартных звезд главной последовательности.

### **Наблюдательный материал и результаты**

Как известно, архив IUE состоит из спектров, которые были получены с помощью трех камер, первая из них охватывает диапазон 1175-2000Å (Short Wavelength Prime - SWP), вторая и третья – 2000-3200 Å (Long Wavelength Prime – LWP и Long Wavelength Redundant - LWR). Спектральное разрешение составляет около 6 Å. После обработки спектрограмм специальной программой [20] каждая из вышеприведенных областей спектров выводится в окнах в виде изображения в формате \*.gif. Изображения УФ спектров переменных доступны всеобщему пользованию и размещены в информационной базе SIMBAD. Об-

ший визуальный просмотр спектрограмм показывает, что в рассматриваемых спектрограммах имеются многочисленные накладывающиеся друг на друга линии - бленды.

Для избежания учета межзвездного покраснения в спектральных линиях, а также дополнительных ошибок из-за разнородности полученных спектрограмм мы применяли классический метод обработки спектрограмм, в котором измерение производится в относительных единицах: после проведения уровня непрерывного спектра определялись центральные остаточные интенсивности ( $R_{\lambda} = 1 - \frac{I}{I_0}$ ) и по-

луширины ( $\Delta\lambda_{1/2} - \text{FWHM}$ ) линий или бленд. Здесь  $I$  – абсолютный поток при вершине линии,  $I_0$  – абсолютный поток на уровне континуума при основании линии. В таком измерении основная ошибка в интенсивности линии возникает из-за неправильного проведения уровня непрерывного спектра. Поэтому, процедуру проведения непрерывного спектра мы выполняли очень тщательно, добиваясь постоянство проведения континуума через отдельные участки спектра.

Для проверки достоверности процесса измерений спектральных параметров отдельных линий из IUE каталога (IUE Low Dispersion Catalogue - LDC) нами были отобраны УФ спектры около 40 стандартных звезд карликов (V тип светимости). Диапазон спектральных классов этих звезд охватывает от B0 до M0. В табл.1 приводится список отобранных звезд, номер их спектров и спектральный тип по двумерной спектральной классификации.

Нами были отобраны спектральные линии для разных диапазонов спектрального класса. Например, для интервала спектральных классов B0-A5 по SWP спектрограммам были отобраны линии  $\lambda 1213 \text{ \AA}$  L $\alpha$ ,  $\lambda 1261 \text{ \AA}$  SiII,  $\lambda 1304 \text{ \AA}$  OI,  $\lambda 1336 \text{ \AA}$  CII. Для LWP спектров были отобраны линии поглощения FeII  $\lambda\lambda 2607, 2746 \text{ \AA}$ , дублета MgII  $\lambda 2800 \text{ \AA}$ , CrII  $\lambda 2866 \text{ \AA}$ , FeI, CuI  $\lambda 3097 \text{ \AA}$ , в интервале спектральных классов G0 – K7.

Таблица 1

Список стандартных звезд из каталога LDC

| HD     | №         | Sp      | HD     | №         | Sp   |
|--------|-----------|---------|--------|-----------|------|
| 103287 | SWP 08196 | A0 V    | 12311  | SWP 11242 | F0 V |
| 80081  | SWP 11235 | A1 V    | 29875  | SWP 42467 | F2 V |
| 106591 | SWP 47855 | A3 V    | 26462  | SWP 49838 | F4 V |
| 97603  | SWP 19247 | A4 V    | 4307   | LWP 08442 | G0 V |
| 116642 | SWP 10285 | A5 V    | 28068  | LWP 12704 | G1 V |
| 99211  | SWP 46604 | A7 IV-V | 10307  | LWR 04854 | G2 V |
| 26910  | SWP 50013 | A8 V    | 26736  | LWR 04129 | G3 V |
| 26910R | LWP 27414 | A8 V    | 117176 | LWP 11114 | G5 V |
| 31726  | SWP 08165 | B1 V    | 115617 | LWP 08809 | G6 V |
| 122980 | SWP 46857 | B2 V    | 13783  | LWP 14538 | G8 V |
| 75112  | SWP 36317 | B4 V    | 10760  | LWP 09652 | K0 V |
| 188665 | SWP 15338 | B5 V    | 10476  | LWR 11854 | K1 V |
| 115823 | SWP 40634 | B6 V    | 22049  | LWR 12671 | K2 V |
| 204770 | SWP 43554 | B7 V    | 201091 | LWR 12743 | K5 V |
| 222173 | SWP 33853 | B8 V    | 201092 | LWR 12742 | K7 V |
| 196867 | SWP 15545 | B9 V    |        |           |      |

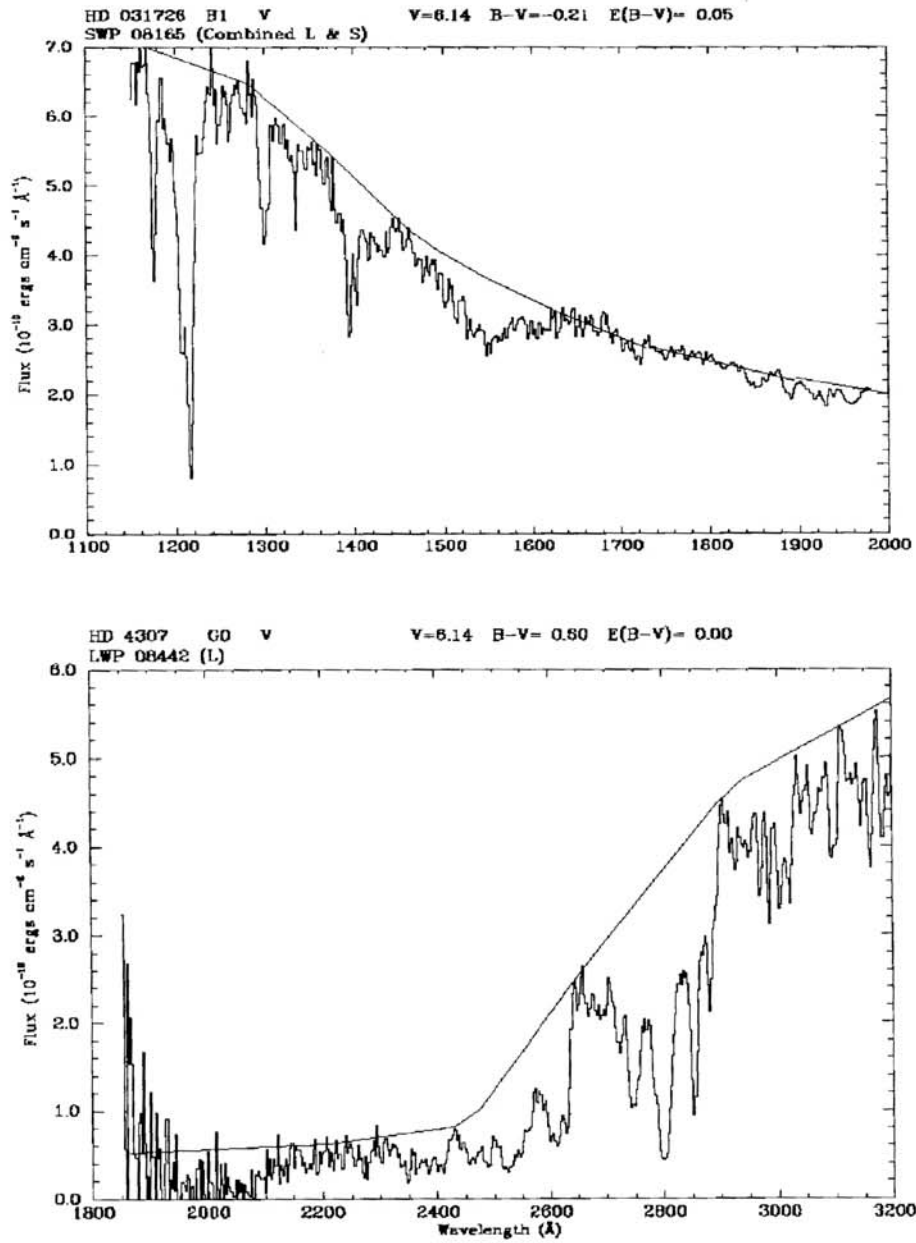
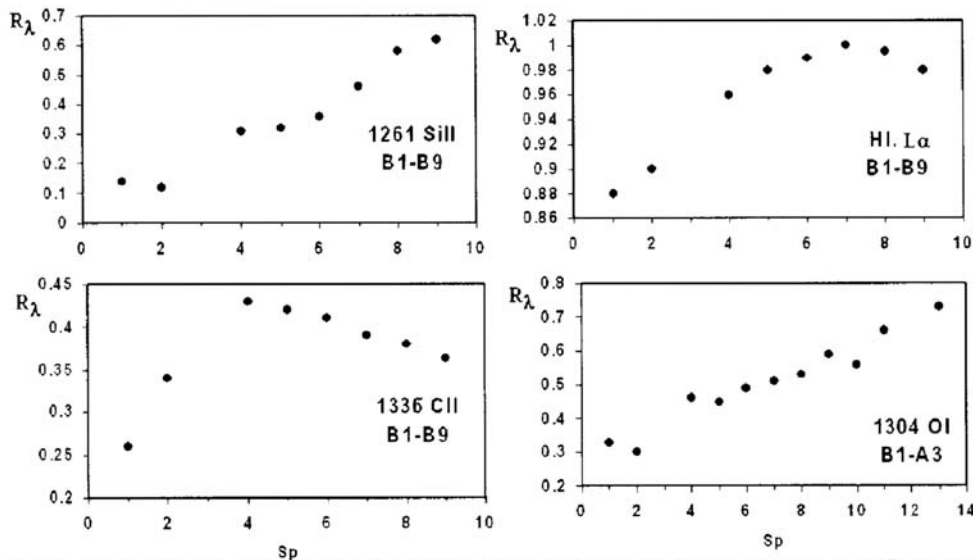


Рис.1. Примеры фрагментов УФ спектрограмм двух разных стандартных звезд HD031726 (сверху) и HD4307 (внизу) для SWP и LWP взятые из SIMBAD. Сплошной линией показан уровень проведенного непрерывного спектра.



**Рис.2.** Зависимость центральной остаточной интенсивности отдельных линий от спектрального класса для звезд главной последовательности.

На рис.2 приведена зависимость центральной остаточной интенсивности отдельных линий от спектрального класса. Как отсюда видно, изменение интенсивностей отдельных линий от спектрального класса происходит монотонно. Для разных линий максимум параметра  $R_\lambda$  достигается в разных спектральных классах. Небольшой разброс по параметру  $R_\lambda$  показывает уровень отклонения от средней линии. Как отсюда видно,  $R_\lambda$  измеряется с точностью не хуже 10 %. Так как полуширины линий  $\Delta\lambda_{1/2}$  определяются точностью  $\pm 1.5 \text{ \AA}$  (для SWP камеры) и  $\pm 3 \text{ \AA}$  (для LWP и LWR камер), вычисленные по этим параметрам эквивалентные ширины также дают большую ошибку измерений – до 15-20 %.

На рис.1 приведены примеры УФ спектрограмм для каждой из областей SWP и LWP. Сплошной линией показан уровень проведенного нами непрерывного спектра.

На рис.3 приведена зависимость параметра  $R_\lambda$  от спектрального класса для отдельных звезд. Как отсюда видно, здесь также наблюдается монотонный переход значений  $R_\lambda$  по спектральным классам.

Таким образом, эти измерения показывают, что спектральные параметры, измеренные по IUE спектрограммам, вполне пригодны для применения спектральной классификации и проведения спектрального анализа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе впервые в Шамахинской Астрофизической обсерватории начаты спектральные исследования низкодисперсионных IUE спектрограмм молодых звезд типа Т Тельца и родственных объектов, охватывающих спектральный диапазон  $\lambda\lambda 1150\text{-}3200 \text{ \AA}$ , появилась возможность для детального исследования спектров отдельных молодых звезд.

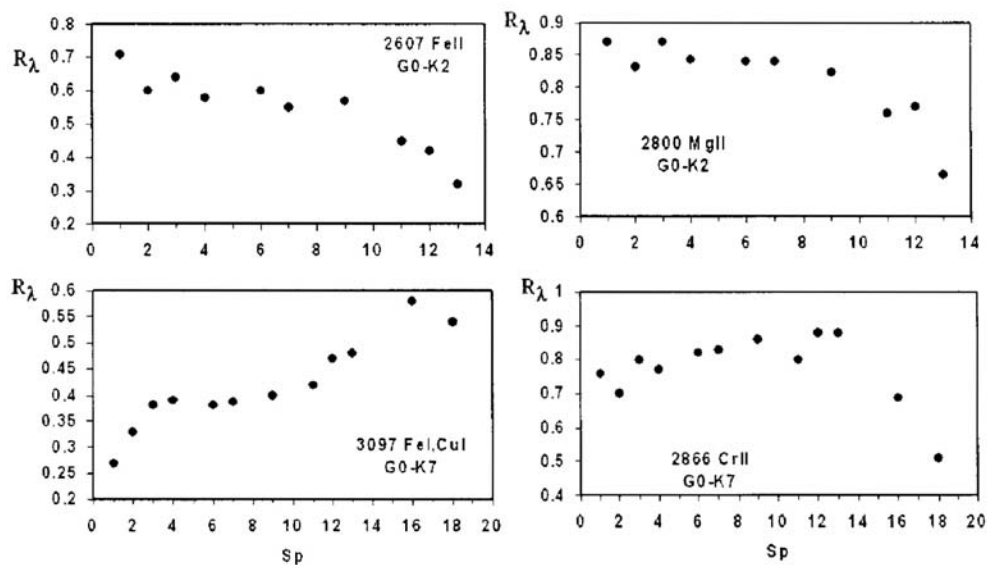


Рис.3. Зависимость центральной остаточной интенсивности  $R_\lambda$  отдельных линий от спектрального класса для звезд главной последовательности.

Актуальность работы вызвано тем, что в УФ части спектра звезды типа Т Тельца и родственные объекты обладают важнейшими специфическими характеристиками, которые могут иметь ключевую роль для объяснения физической природы этих объектов. К настоящему времени выполненные спектральные исследования УФ части спектра молодых звезд носят обзорный и обобщающий характер для выбранных групп звезд.

По измерениям параметров спектральных линий из спектрограмм выбранных стандартных звезд, взятых из каталога IUE LDC, нами было показано, что полученные параметры вполне пригодны для выполнения, в частности, двумерной спектральной классификации и спектрального анализа УФ спектров звезд. На основании пробных измерений УФ спектров стандартных звезд нами применена методика измерений IUE спектрограмм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Herbig G.H. The properties and problems of T Tauri Stars and related objects. *Adv.Astron.and Astrophys.*1962, v.1, p.47-103.
2. Исмаилов Н.З., Алиева А.А. Анализ избытков ближних УФ и ИК-излучений у звезд типа Т Тельца. *Известия НАН Азерб.*2005, №2, с.189-193.
3. Bertout C., Basri G., Bouvier J. Accretion disks around T Tauri stars. *Astrophys.J.* 1988, v.330, p.350-373.
4. Herbst W., Booth J.F., Korett D.L., Zajtseva G.V., Schhakovskaya N.I., Vrba F.J., Covino E., Terranegra L., Vittono A., Hoff D., Kelsey L., Lines R., Barksale W. Photometric variations of Orion population stars. V. A search for periodicities. *Astron.J.* 1987, v.94, p.137-149.
5. Bouvier J., Cavino E., Kovo O., Martin E.L., Matthews J.H., Terranegra L., Beck S.C. COYOTES II. SPOT properties and the origin of photometric period variations in TTS. *Astron.Astrophys. J.* 1995, v.299, p.89-107.
6. Valenti J.A., Basri G., Johns C.M. *Astron.J.*1993, v.106, p.2024-2050.
7. Gullbring E., Hartmann L., Brice C., Calvet N. *Astrophys.J.* 1998, v.492, p.323-342.

8. Lynden-Bell D., Pringle J.E. MNRAS, 1974, v.168, p.603-637.
9. Königl A. Astrophys.J. 1991, v.370, p.L39-43.
10. Shu F.N., Najita J., Ostriker E., Wilkin F., Ruden S., Lizano S. Magnetocentrifugally driven flows from young stars and disks. I: A generalized model. Astrophys.J. 1994, v.429, p.781-796.
11. Lamzin S.A. On the structure of the accretion shock wave in case of young stars. Astron. Astrophys.J.1995, v.295, p. L20-L22.
12. Lamzin S.A. The structure of shock waves in the case of accretion onto low-mass young stars. Astron.Reports.J. 1998, v.42, p.322-335.
13. Simon T., Vrba F.J., Herbst W. Astron.J. 1990, v.100, p.1957-1967.
14. Giovanelli L., Rossi C., Errico L., Vittone A.A., Bisnovaty-Kogan G.S., Kurt V.G., Sheffer E.K., Lamzin S.A., in Rolfe E.J., ed., ESA SP-310, Evaluation in Astrophysics. ESA Publications, ESTEC, Noordwijk, 1990, p.231.
15. Gomez de Castro A.I., Fernandez M., MNRAS, 1996, v.283, p.55.
16. Montmerle T., Feigelson E.D., Bouvier J., Andre P. in Levy E.H., Lunine I.J., eds., Protostars and Planets III. University of Arizona press, Tuscon, 1993, p.689.
17. Valenti J.A., Johns-Krull C.M., Linsky J.I., An IUE Atlas of pre-main-sequence stars.I. Co-added final archive spectra from the SWP camera. Astrophys.J. Suppl.Ser. 2000, v.129, p.399-420.
18. Johns-Krull C.M., Valenti J.A., Linsky J.I. An IUE atlas of pre-mainsequence stars.II. Far-ultraviolet accretion diagnostics in T Tauri stars. Astrophys.J. 2000, v.539, p.815-833.
19. Valenti J.A., Fallon A.A., Johns-Krull C.M., An IUE atlas of pre-mainsequence stars.III. Co-added final archive spectra from the LWP cameras. Astrophys.J. Suppl.Ser. 2003, v.147, p.305-336.
20. Nichols J.S., Garhart M.P., De La Pena M.D., Levay K. NASA IUE Newsletter 1994, №53, p.47.

**CAVAN ULDUZLARIN ULTRABƏNÖVŞƏYİ SPEKTRİNİN TƏDQIQI  
I. IUE ARXIV SPEKTROQRAMLARININ İŞLƏNMƏSİ**

**N.Z.İSMAYILOV, F.N.ƏLİMƏRDANOVA, O.V.XƏLİLOV, G.R.BAHƏDDİNOVA**

**XÜLASƏ**

İşdə International Ultraviolet Explorer (IUE) arxivindən götürülmüş 40-a qədər standart cırdan ulduzun  $\lambda\lambda$  1200-3000 Å diapazonda alınmış spektrinin işlənməsindən alınan nəticələr verilir. B0-M0 spektral siniflər intervalında hər bir ulduz üçün 20-yə qədər spektral xəttin dərinliyi və yarımni ölçülmüşdür. Ölçmələr göstərdi ki, spektrdə xəttin yarımni  $\Delta\lambda_{1/2} \pm 1.5\text{Å}$  ( SWP kamerası üçün) və  $\pm 3\text{Å}$  ( LWP və LWR kameraları üçün), intensivliyi 10%, ekvivalent enləri isə 15-20% dəqiqliklə təyin olunur.

**THE ULTRAVIOLET SPECTRUM STUDY OF YOUNG STARS  
I. IUE ARCHIVE SPECTROGRAMS PROCESSING**

**N.Z.ISMAYILOV, F.N.ALIMARDANOVA, O.V.KHALILOV,  
G.R.BAHADDINOVA**

**SUMMARY**

The article presents the results of 40 IUE archive spectrums processing obtained for dwarf stars at the range  $\lambda\lambda$  1200-3000 Å. For each of spectral classes in B0-M0 interval at the depth and halfwidth of 20 spectral lines are measured. Our measurements show, that the half intensity width of  $\Delta\lambda_{1/2}$  lines can be determined by precision  $\pm 1.5\text{Å}$  (for SWP camera) and  $\pm 3\text{Å}$  ( for LWP and LWR cameras), line intensities by 10% and equivalent width by 15-20%.