АСТРОФИЗИКА

ТОМ 50 ФЕВРАЛЬ, 2007 ВЫПУСК 1

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ "ИНФРАКРАСНОЙ" ТУМАННОСТИ В ОБЛАСТИ CYG OB7

Н.Д.МЕЛИКЯН[1], В.С.ТАМАЗЯН[2], А.А.КАРАПЕТЯН[1], С.К.БАЛАЯН[1]

Поступила 18 июля 2006
Принята к печати 22 ноября 2006

Приводятся результаты спектральных и морфологических исследований инфракрасной туманности в области Cyg OB7, открытой в 2000г. Показано, что туманность за последние несколько лет сильно изменила блеск и форму. Спектральные наблюдения туманности, выполненные в 2004 и 2005гг. на 2.6-м телескопе Бюраканской обсерватории, позволили зарегистрировать слабый след непрерывного спектра, свидетельствующий о наличии звезды внутри темного облака. Классификация полученных спектров показывает, что звезда в течение одного года изменила спектральный класс от позднего G до раннего K. Показано также, что поглощение в направлении туманности достигает до 8^m-10^m.

Ключевые слова: *туманности: инфракрасные: спектры*

1. *Введение.* Изучение эволюции звезд в основном обусловлено исследованиями нестационарных объектов в разных фазах их развития. Трудности при этом состоят именно в определении этих фаз одного и того же объекта на эволюционной последовательности. Усилия астрофизиков в настоящее время сосредоточены на исследование тех объектов, которые, будучи теснейшим образом связанными с областями звездообразования, становятся доступными для наблюдений в оптическом диапазоне. Это звезды типа T Тельца, Ae/Be Хербига, фуоры, объекты Хрбига-Аро, O-B звезды, связанные с компактными и протяженными зонами ионизованного водорода. С этой точки зрения обнаружение и исследование молодых областей звездообразования имеет весьма важное значение, поскольку именно в этих областях обнаружение генетически связанных образований является наиболее вероятным.

С открытием В.Амбарцумяном звездных ассоциаций начинается новый этап исследования эволюции звезд [1]. Звездные ассоциации - очаги звездообразования, являются динамически неустойчивыми системами, которые в течение короткого времени распадаясь, обогащают звездное поле Галактики. По времени это открытие совпало почти с основанием Бюраканской астрофизической обсерватории, где уже 60 лет успешно продолжаются исследования нестационарных объектов в

звездных ассоциациях.

Поиск Hα эмиссионных звезд в области ассоциации Cyg OB7 [2] позволил обнаружить новый очаг звездообразования с многочисленными нестационарными объектами. В частности, в этой области, с размерами 11'x11', нами обнаружены 11 новых эмиссионных звезд, 2 новые кометарные туманности, 3 группы объектов Хербига-Аро и одна новая инфракрасная туманность [3-6]. Необычно высокая плотность обнаруженных нестационарных объектов в этой области свидетельствует о важности ее исследования.

Область и объекты, обнаруженные в ней, стали предметом наших исследований последних лет [3-6]. За это время были получены спектры 17 звезд области, 5 наиболее ярких сгущений объекта HH 448 и инфракрасной туманности. Половина звезд являются эмиссионными. Предварительная обработка спектров эмиссионных звезд показала, что все они, по-видимому, имеют характеристики звезд типа T Тельца и показывают переменность блеска [3-6]. Зарегистрирована переменность также и у обнаруженных нами двух кометарных туманностей, объектов Хербига-Аро и инфракрасной туманности. 4 эмиссионные звезды, вероятно, составляют систему типа трапеции [5]. Показано, что один из объектов Хербига-Аро с двумя соседними звездами составляет цепочку и, согласно измеренным собственным движениям, эта физическая система распадается [4].

Особенно сильное изменение яркости зарегистрировано у инфракрасной туманности. Туманность была открыта в 2000г. в ближней инфракрасной области спектра. В это время следов ее в линиях Hα и SII не было [3-6]. Она отсутствовала также и на изображениях Паломарского обзора неба DSS1 и DSS2. За последние несколько лет она сильно изменила свою форму и яркость [3,6], вероятно, вследствие бурных физических процессов, приведших к образованию туманности.

Настоящая работа посвящена спектральному, морфологическому и фотометрическому исследованию обнаруженной инфракрасной туманности и расположенной в ее окрестности звезды.

2. *Наблюдения*. В работе приводятся данные наблюдений, выполненных на 2.6-м телескопе Бюраканской обсерватории в 2000-2005гг. Были использованы спектральные камеры ByuFOSC-2 [7] и SCORPIO [8], установленные в первичном фокусе телескопа. При работе с ByuFOSC-2 в качестве светоприемника использована CCD камера со светочувствительным элементом фирмы "Thomson" с размерами 1060 x 1028 пк. При наблюдениях были использованы гризмы, охватывающие спектральные области 5500-7500 Å и 4350-6700 Å, с пространственным разрешением 0".65. С камерой, установленной в

первичном фокусе телескопа, нами проводились наблюдения как в режиме получения прямых изображений с широкополосными и узкополосными фильтрами, так и в режиме спектроскопии с длинной щелью. Приемная аппаратура SCORPIO используется с ПЗС матрицей с размерами 2063 x 2058 пк. При прямых наблюдениях охватывается область с размерами 14' x 14', с пространственным разрешением, равным 0.42 пк. В спектральной моде используется гризма с дисперсионной решеткой 600 штрих/мм. В результате получается линейная дисперсия 1.7 Å /pix. Во время наблюдений применялись узкополосные светофильтры вблизи несмещенных линий Hα и [SII] 6717/31 Å, и широкополосные *B*, *V*, *R*, *I*. Более подробная информация об использованной аппаратуре, фильтрах, о методике наблюдений и полученном наблюдательном материале представлена в наших ранних работах [3-6].

3. ***Инфракрасная туманность.*** Инфракрасная туманность, изучению которой посвящена настоящая работа, обнаружена в 2000г. [3]. Первоначально туманность была обнаружена только в ближней инфракрасной области ($\lambda_c = 8500$Å, $\Delta\lambda = 1200$Å), в то время как во всех остальных областях спектра, в том числе и на DSS1 и DSS2 изображениях, она отсутствовала. Следовательно, появление туманности в ближних инфракрасных лучах произошло за время порядка 10 лет. В 2004г. она уже хорошо видна во всех областях спектра [6]. Следовательно, название "инфракрасная" в настоящее время может применяться лишь условно.

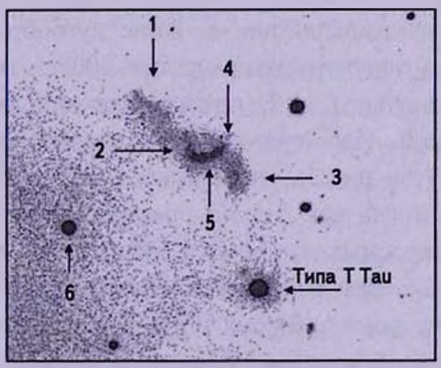

Рис.1. Область инфракрасной туманности. Стрелками показаны составляющие туманности и две звезды из ее окрестности.

3.1. ***Морфология туманности.*** Рис.1 представляет область инфракрасной туманности с размерами приблизительно 3' x 3'. На рисунке стрелками показаны все составляющие элементы туманности,

а также отмечены две звезды, одна из которых является звездой типа Т Тельца [5,6]. Вторая звезда (рис.1, №6) также находится недалеко от туманности, и, по-видимому, находится внутри темного облака.

На рис.2 приводятся изображения туманности в ближней инфракрасной области спектра (снимки получены в 2000, 2002, 2004гг.), а также изображение, снятое без фильтра в 2005г. Как хорошо видно на рисунке, объект состоит из 3 туманных протяженных образований в форме дуги (1-3) и двух компактных образований (4,5), похожих

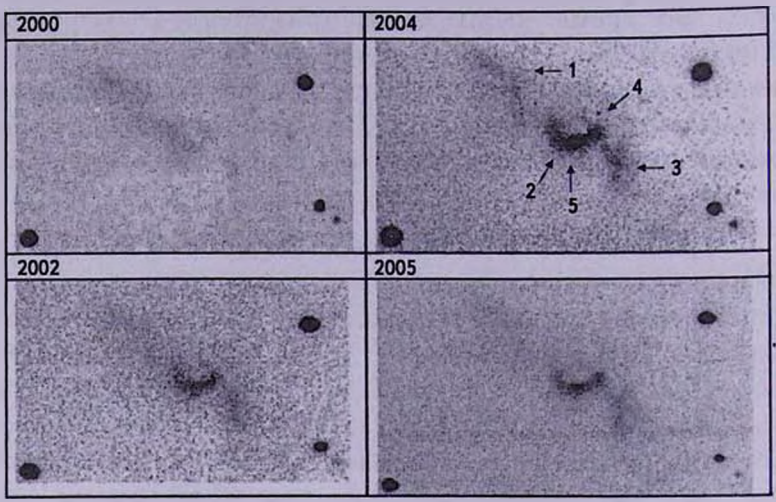

Рис.2. Изображения туманности в ближней инфракрасной области спектра, полученных в 2000-2004гг., и ее изображение, снятое без фильтра в 2005г.

на звезду. Последние выделяются на фоне дугообразного образования 2. На изображении, полученном в августе 2000г., слабо видны только образования в виде дуги 1 и 2, притом верхняя часть образования 1 является самой яркой. Наблюдения, выполненные в 2004г. в *B*, *V*, *R*, *I* областях спектра (см. рис.3), показывают, что в *V* лучах образование 1 предельно слабо, тогда как 2-5 по яркости сравнимы с их яркостью в красных и инфракрасных лучах. В *B* лучах слабо видны образования 2 и 3, но они слабее, чем в *V* лучах. Компактные образования 4 и 5 четко выделяются на фоне дугообразного 2. В красных лучах в точности повторяется форма изображения туманности в лучах *I*. Во всех случаях образование 1 намного слабее остальных, тогда как в 2000г. оно было самым ярким.

Приблизительно на 1 угл. мин южнее от компактного образования 4 находится эмиссионная звезда типа Т Тельца [6]. Эта самая яркая звезда в *I* лучах вблизи туманности. Согласно каталогу USNO [9], яркость звезды в *B*, *R* и *I* лучах составляет:

$$m_B = 18^{\mathrm{m}}.1, \quad m_R = 15^{\mathrm{m}}.1 \quad \text{и} \quad m_I = 13^{\mathrm{m}}.3.$$

На основе наших наблюдений с помощью фотометрических данных звезд, приведенных в USNO [9], можно оценить звездные величины компактных образований 4 и 5 в *B*, *R*, *I* лучах. Несмотря на то, что

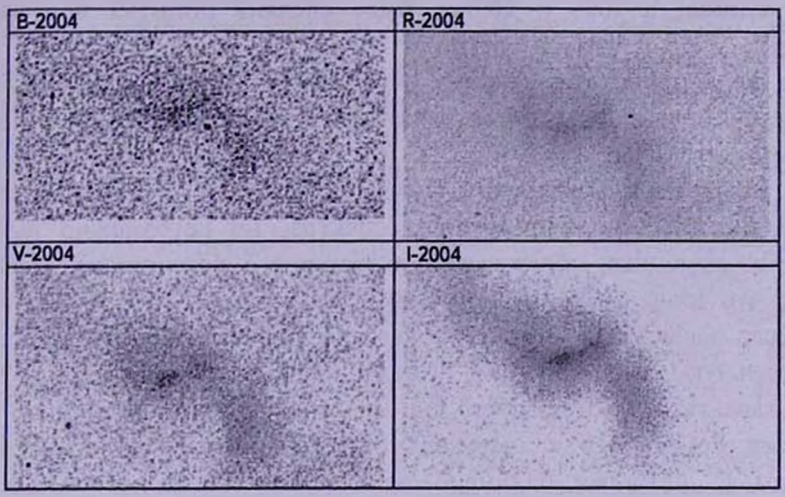

Рис.3. Изображения туманности в *B*, *V*, *R* и *I* областях спектра, снятые в 2004г.

компактное образование 5 на наших снимках заметно ярче образования 4, в пределах ошибок измерений ($\sigma m = \pm 0^{\mathrm{m}}.3 - 0^{\mathrm{m}}.5$) они имеют приблизительно одинаковую яркость во всех трех указанных областях спектра:

$$m_B = 19^{\mathrm{m}}.5, \quad m_R = 17^{\mathrm{m}}.5, \quad m_I = 16^{\mathrm{m}}.2.$$

Инфракрасная туманность имеет направление на северо-восток и со всеми составляющими простирается на расстоянии приблизительно 85". Принимая во внимание, что расстояние до темного облака Хавтаси 141 порядка 400 пк [10], для инфракрасной туманности получим линейные размеры в пределах 0.16 - 0.17 пк.

Компактные образования 1 и 2, как и образование 3, появились за время порядка 2-х лет. Расстояние между компактными образованиями, по-видимому, растет. Наши грубые оценки, основанные на наших наблюдениях, показали, что это расстояние за три года увеличилось более чем на 1". Трудно предположить, что какая-нибудь из ближайших звезд может быть причиной всех вышеперечисленных изменений в туманности, тем более, что наши спектральные и фотометрические исследования свидетельствуют о том, что ни одна из них за это время не показала сильных изменений блеска. Можно предположить, что источник энергии, за счет которой происходили

все указанные изменения в туманности, глубоко погружен в темное облако Хавтаси 141 [6], и мы видим пока только вторичные эффекты происходящих мощных физических процессов.

3.2. *Спектральные исследования*. Несмотря на то, что туманность очень слабая, в 2004 и 2005гг. была сделана попытка получить ее спектр.

На рис.4 приводятся спектры образований 2,. 4 и 5 (при получении спектра щелью охватываются указанные три туманных образования), полученные в 2004г. (a) и в 2005г. (b). Спектры представлены на рис.4 после медианной фильтрации. Полученные спектры свидетельствуют о наличии слабого непрерывного спектра, но невозможно выявить, какой из туманных образований является его источником. Несмотря на то, что из-за слабости источника, полученные спектры не имеют хорошего качества (см. рис.4), тем не менее удалось провести их спектральную классификацию. Спектр объекта, полученный в 2004г., имеет характеристики позднего G с многочисленными абсорбционными линиями FeI и Mgb и значительно ослабленными, по сравнению с классом F, линиями бальмеровской серии. Согласно стандартным критериям [11-13], он может быть классифицирован как поздний G. Заметим, что дублет NaD довольно слаб.

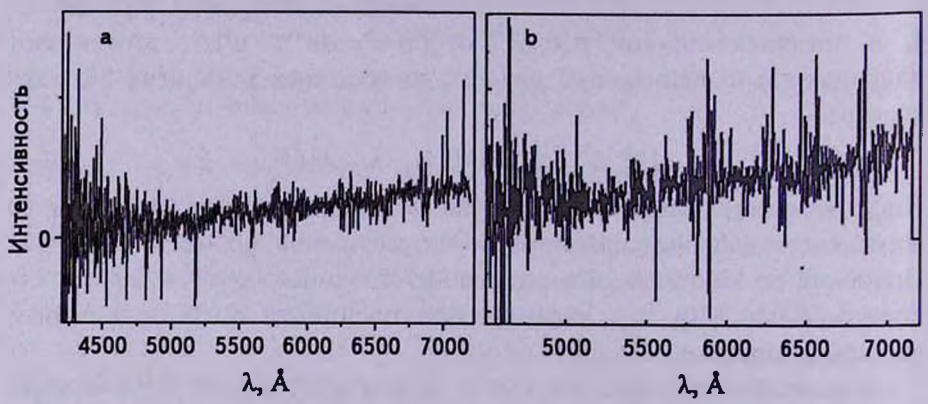

Рис.4. Спектры туманных образований 2, 4, 5 в 2004г. (a) и в 2005г. (b).

Спектр, полученный в 2005г., значительно отличается от предыдущих спектров, поскольку NaD сильно усилена, и по интенсивности превосходит даже триплет Mgb. На спектре видны многочисленные эмиссионные линии, уверенное отождествление которых, к сожалению, очень часто невозможно из-за сильных аппаратурных шумов. Создается впечатление, что на спектр наложена сильная непрерывная эмиссия, которая не только подняла уровень непрерывного спектра, но и залила многие абсорбционные (прежде всего слабые) детали. Если принять во внимание только

абсорбционные линии, то,согласно стандартной процедуре, спектр, полученный в 2005г., следует классифицировать как ранний K, так как наблюдаемые абсорбционные детали соответствуют более низкой температуре. Определение класса светимости на основе настоящих наблюдений пока невозможно.

На рис.5 приводятся участки спектра вокруг линий NaD и Hα, полученные в 2004 и 2005гг. Эти участки спектра являются наиболее чистыми от аппаратурных шумов. На рисунке хорошо видны изменения этих линий, но считаем особенно интересными изменения линии Hα. Как хорошо видно на рисунке (2004), слабая эмиссия линии Hα выступает из глубины широкой абсорбции. На следующем спектре (2005) абсорбция почти полностью залита непрерывной эмиссией, а эмиссионная линия Hα уже четко выделяется. Такие изменения характерны многим нестационарным звездам, в частности, новоподобным звездам, звездам типа T Tau, Ae/Be Хербига и FU Ori.

Из трех ярких звезд, окружающих туманность, одна является звездой типа T Tau и находится на расстоянии около 80". Вторая звезда (см. рис.1, обозначение 6), приблизительно на таком же расстоянии на юго-востоке от туманности, находится между инфракрасной туманностью и двумя группами известных объектов Хербига-Аро [3,5]. На рис.6 приводится спектр этой звезды. В нем видны

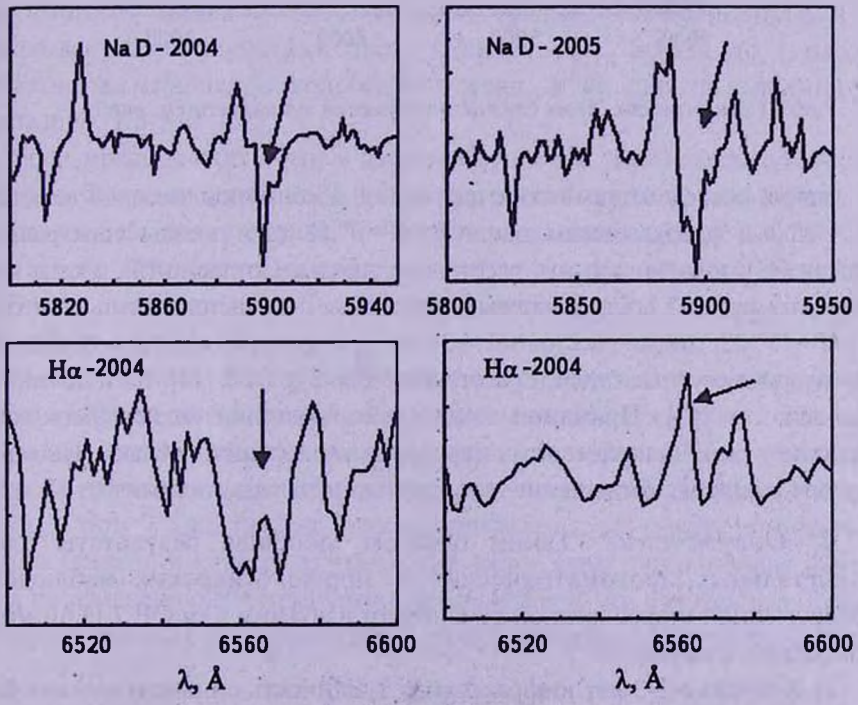

Рис.5. Участки спектральных линий NaD и Hα (линии показаны стрелками).

многочисленные абсорбционные линии Fe I и значительно ослабленные, по сравнению с классом F, линии бальмеровской серии. Согласно известным критериям [11-13], спектр звезды можно уверенно отнести к типу G4 - G5, так как здесь триплет Mgb почти незаметен, а NaD является самой сильной из наблюдаемых абсорбционных линий, и превосходит даже известную G полосу. Мы здесь не будем подробно останавливаться на определении класса светимости спектра этой звезды, так как в настоящее время проводится спектральная классификация многих звезд этой области, результаты которых будут представлены в отдельной работе. Принимая, что звезда принадлежит

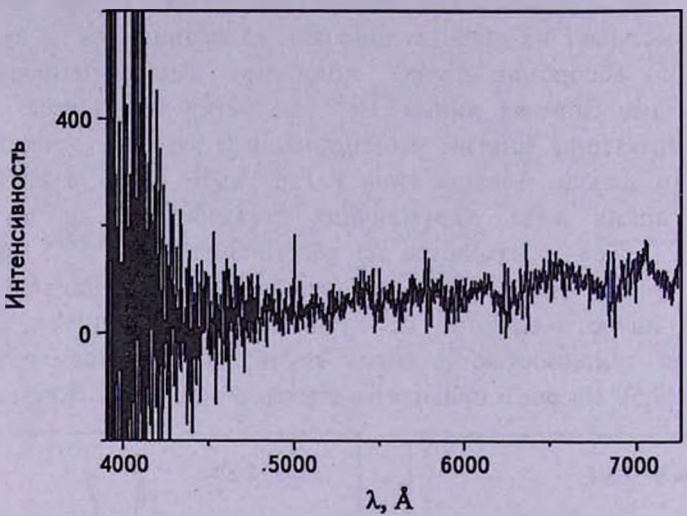

Рис.6. Спектр звезды (6) из ближнего окружения туманности(см. рис.1).

к Главной последовательности с визуальной абсолютной звездной величиной $M_V = 5^m.2$ и с показателем цвета $B - V = 0^m.68$ (для звезды спектрального класса G5), можно оценить расстояние звезды. Согласно [9], звезда имеет величину $m_B = 19^m.1$. Следовательно для звезды получается модуль расстояния $m - M = 13^m.22$, откуда расстояние 4.3 кпк. Это значение намного превосходит не только известные оценки расстояния для Cyg OB7 [14], но и оценки для Хавтаси 141 [10]. Причиной такого несоответствия может быть только наличие в этом направлении сильного поглощающего облака. По нашим грубым оценкам, поглощение в направлении звезды достигает от 8^m до 10^m.

4. *Обсуждение*. Таким образом, обобщая результаты наших спектральных, фотометрических и морфологических наблюдений обнаруженной инфракрасной туманности в области Cyg OB 7 [3,6], можно утверждать следующее:

а) В течение 2-3 лет инфракрасная туманность сильно изменила блеск

и форму. За это время появились 2 новых компактных образования (4, 5) и одно в форме дуги (3). Ранее, чуть заметное в ближней инфракрасной области спектра дугообразное образование (2) сильно увеличило свою яркость и отчетливо видно во всех областях спектра, на фоне которой и выделяются компактные образования 4 и 5. По нашим грубым оценкам расстояние между компактными образованиями за три года увеличилось примерно на 1", следовательно можно предположить, что эти образования разбегаются друг от друга с очень большой скоростью. Вполне возможно, что они являются продуктом выброса от звезды, глубоко погруженной в темное облако Хавтаси 141. Объект действительно очень интересный. Он был повторно обнаружен через два года после нашего открытия, при этом было высказано предположение, что рождается новая звезда типа FU Ori [15]. Интересно, что предположение было сделано на основе того, что на "K" изображениях обзора 2MASS, на этом месте никакого объекта не было обнаружено. Авторы статьи [15] пришли к выводу, что объект за несколько лет увеличил свою яркость по крайней мере на 4^m.

Отметим, что только в случае Фуора V 1057 Cyg более или менее известно о характере звезды до вспышки. Согласно Хербигу [16], в 1957г. звезда, по-видимому, имела спектр, характерный для звезд типа T Tau. Наблюдения, выполненные с помощью объективной призмы в обсерватории Тонантцинтла в 1950-1951гг., показали, что эта эмиссионная звезда с Hα эмиссией средней интенсивности и не показывает характеристики звезд типа M [17]. Звезда до вспышки показывала небольшое колебание блеска, а ее спектр находился в диапазоне K0-M0 [18].

Если предположить, что в данном случае мы имеем дело с Фуором, как это было предложено в [15], то нужно принять, что объект до вспышки был звездой типа T Tau спектрального класса K0-M0 [16-18] (это не исключено, так как в окрестности очень много звезд типа T Tau, и некоторые из них могут находиться в глубине темного облака).

б) Полученный спектр туманности свидетельствует о наличии очень слабого непрерывного спектра. Спектральная классификация показывает, что звезда в течение одного года изменилась от позднего G до раннего K. Характер изменения линии Hα свидетельствует о возможной принадлежности звезды к типу T Tau. Так как пока не определен класс светимости объекта, трудно сказать, к какому из указанных типов звезд принадлежит объект. Судя по изменению спектра, можно предположить, что в результате мощной вспышки звезды, погруженной в облако, образовалась инфракрасная

туманность, блеск которой медленно идет к затуханию. Так или иначе, природа объекта пока остается неразгаданной и требуются дальнейшие многосторонние исследования как этого объекта, так и области в целом.

[1] Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна, Армения, e-mail: nmelikia@bao.sci.am
[2] Астрономическая обсерватория "Рамон Мария Аллер" университета Сантьяго де Компостела, Испания, e-mail: oatamaz@usc.es

SPECTRAL AND MORPHOLOGICAL INVESTIGATIONS OF AN INFRARED NEBULA IN THE CYG OB 7 REGION

N.D.MELIKIAN[1], V.S.TAMAZIAN[2], A.A.KARAPETIAN[1], S.K.BALAYAN[1]

The results of the spectral and morphological investigations of an infrared nebula in the Cyg OB 7 region discovered in 2000 are presented. It is shown, that during recent years the nebula has shown strong changes in its form and brightness. The spectral observations of the nebula carried out in Byurakan observatory in 2004 and 2005 with the 2.6-m telescope allow to detect a weak trace of a continuous spectrum which testifies the existence of a star in dark cloud. The classification of these spectra shows that during one year the object has changed spectral class from late G to early K. It is also shown, that the absorption in direction to the nebula achieves to 8^m-10^m.

Key words: *nebulae: infrared:spectra*

ЛИТЕРАТУРА

1. *В.А.Амбарцумян*, Эволюция звезд и астрофизика, АН Арм.ССР, Ереван, 1947.
2. *Н.Д.Меликян, А.А.Карапетян, Л.Г.Ахвердян, А.Ц.Карапетян*, Астрофизика, 39, 217, 1996.
3. *Н.Д.Меликян, А.А.Карапетян*, Астрофизика, **44**, 265, 2001.
4. *Г.А.Арутюнян, Н.Д.Меликян*, Астрофизика, **44**, 431, 2001.

5. *Н.Д.Меликян, А.А.Карапетян*, Астрофизика, **46**, 353, 2003.
6. *Н.Д.Меликян, В.С.Тамазян, А.А.Карапетян*, Астрофизика, **49**, 375, 2006.
7. *T.A.Movsessian, J.-L.Gach, J.Boulesteix, S.V.Zaratsian*, Baltic Astron., **9**, 652, 2000.
8. *V.L.Afanasiev, E.B.Guzhur, S.R.Zhelenkov, A.V.Moiseev*, Bull. Special Astrophys. Observ., **58**, 90, 2005.
9. *D.Monet, S.E.Levine, B.Canzian et al.*, Astron. J., **125**, 984, 2003. (http://cdweb.u-strasbg.fr/viz-bin/vizier?-source=I/284)
10. *P.T. de Zeeuw, R.Hoogerwerf, J.H.J. de Bruijne, A.G.A.Brown, A.Blaauw*, Astron. J., **117**, 354, 1999.
11. *P.C.Keenan*, Publ. Astron. Soc. Pacif, **99**, 713, 1987.
12. *C.Jaschek, M.Jaschek*, The Classification of Stars, Cambridge Univ. Press: Cambridge, 1987.
13. *G.H.Jacoby, D.A.Hunter, C.A.Christian*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **56**, 257, 1984.
14. *W.A.Hiltner*, Astrophys. J., Suppl. Ser., **2**, 389, 1956.
15. *T.Movsessian, T.Khanzadyan, T.Magakian, M.D.Smith, E.Nikogosian*, Astron. Astrophys., **412**, 147, 2003.
16. *G.H.Herbig*, Astrophys. J., **128**, 259, 1958.
17. *G.Haro*, IBVS, №565, 1971.
18. *G.Haro*, Труды симпозиума "Вспыхивающие Звезды и Родственные Объекты", Бюракан, 16-19 октября, 1984, ред. Л.В.Мирзоян, стр.223, Ереван, 1986.