

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗВЕЗД С $\text{H}\alpha$ ЭМИССИЕЙ В СКОПЛЕНИИ IC 348

Е.Г.НИКОГОСЯН, А.В.ВАРДАНЯН, К.Г.ХАЧАТРЯН

Поступила 15 апреля 2015

Принята 16 сентября 2015

В работе представлены результаты статистического анализа ~ 200 звезд с $\text{H}\alpha$ эмиссией в скоплении IC 348. Выборка эмиссионных объектов укомплектована до $R \leq 20.0$. Оптический радиус скопления составляет $\sim 11'$. Процентное содержание эмиссионных звезд повышается от ярких к более слабым объектам и в интервале $13.0 \leq R - A_R \leq 19.0$ достигает 80%. Соотношение между WTTs и CTTS составляет 64% и 36%, соответственно. 70% источников рентгеновского излучения являются объектами WTTs. Возраст WTTs и CTTS составляет $\sim 2 \cdot 10^6$ лет. Неэмиссионные звезды с массой меньше солнечной также имеют возраст $\sim 2 \cdot 10^6$ лет, возраст более ярких объектов составляет $\sim 7 \cdot 10^6$ лет. Наиболее массивные звезды с низким уровнем активности сконцентрированы в небольшом плотном центральном ядре скопления, с радиусом $\sim 1'$ и, по всей видимости, относятся к поколению более ранней волны звездообразования.

Ключевые слова: *звездное скопление: IC 348 - звезды: $\text{H}\alpha$ эмиссия: функция светимости: PMS звезды*

1. *Введение.* Молодые звездные объекты характеризуются целым рядом наблюдательных признаков, которые проявляются на очень широком диапазоне электромагнитного излучения: от рентгеновского до радиоизлучения. Их количественное соотношение меняется в процессе эволюции от очень молодых протозвезд до объектов III-го эволюционного класса. Поэтому молодые звездные скопления, в которых одновременно присутствуют звезды, образовавшиеся в результате последовательных волн звездообразования, и следовательно, находящиеся на различных этапах эволюции, практически представляют собой природные лаборатории для изучения эволюции наблюдательных характеристик молодых звезд.

Предметом нашего исследования является $\text{H}\alpha$ эмиссионная активность в небольшом молодом скоплении IC 348, которое расположено на расстоянии ~ 300 пк на восточной окраине молекулярного облака в Персее. Скопление всегда было предметом активного изучения [1-4 и работы упомянутые здесь], благодаря чему был получен обширный наблюдательный материал в рентгеновском, оптическом и инфракрасном диапазонах. Фундаментальная работа по изучению звезд с $\text{H}\alpha$ эмиссией принадлежит Хербигу [1], в которой был опубликован список ~ 100 эмиссионных звезд

и представлены результаты их детального исследования. В дальнейшем их число удвоилось [3].

Целью нашего исследования, является статистический анализ новой, более полной выборки звезд с $\text{H}\alpha$ эмиссией.

2. Наблюдения и обработка. Изображения исследуемой области были получены в первичном фокусе 2.6-м телескопа Бюраканской обсерватории, с помощью камеры SCORPIO и матрицы с форматом 2063×2059 пикс. Поле и масштаб полученных изображений составляет $14' \times 14'$ и $0.42''/\text{пикс}$, соответственно. FWHM изображений не превышает $2''.5$.

Фотометрические наблюдения с фильтром R (Cousin) были проведены 22.01.2009 с экспозицией 600 с. В качестве фотометрических стандартов использовались звездные величины объектов скопления NGC 7790.

Первичная обработка изображений была выполнена согласно стандартной процедуре. Звездные величины определены с помощью программы IRAF. Ошибки измерений не превышают ~ 0.04 зв. вел.

Поиск объектов с $\text{H}\alpha$ эмиссией проводился с помощью метода бесцелевой спектроскопии с использованием призмы и узкополосного интерференционного фильтра $\text{H}\alpha$ ($\lambda_c = 6560 \text{ \AA}$ и $\Delta\lambda = 85 \text{ \AA}$). Наблюдения были проведены в две эпохи 20.01.2009 и 06.11.2009 с экспозицией 2400 с. В первую эпоху спектральная дисперсия составляла $1.2 \text{ \AA}/\text{пикс}$, во вторую - $2.1 \text{ \AA}/\text{пикс}$. Эквивалентная ширина линии $\text{H}\alpha$ ($EW(\text{H}\alpha)$) была измерена с помощью программы MIDAS. Ошибки измерений определялись по формуле, заимствованной из работы [5]: $\sigma(W_\lambda) = \sqrt{1 + Fc/F} (\Delta\lambda - W_\lambda)/(S/N)$, где Fc - средний уровень континуума, F - излучение в спектральной линии и S/N - отношение сигнала к шуму. Для объектов с $R < 17.0$ ошибки измерения величины $EW(\text{H}\alpha)$ не превышают 30%, для более слабых объектов ошибки возрастают до 40% от величины $EW(\text{H}\alpha)$.

3. Результаты.

3.1. $\text{H}\alpha$ эмиссионные звезды. Список членов скопления IC 348 был заимствован из работы [2]. Согласно данным, которые приводятся в работе [3], в той области, которая представлена на рис.1, выборка членов скопления укомплектована до $I \leq 22$. В этой области было выявлено около 200 звезд с $\text{H}\alpha$ эмиссией, эквивалентная ширина которых, определенная по результатам низкодисперсионной спектроскопии [3], также представлена в каталоге членов скопления [2]. Ранее, для 110 звезд из этого списка были уже определены величины $EW(\text{H}\alpha)$ [1]. Так как в этом случае спектральные наблюдения были выполнены с более высокой дисперсией ($1.55 \text{ \AA}/\text{пикс}$ и $3.6 \text{ \AA}/\text{пикс}$), то в нашей работе, в тех случаях когда это было возможно, были использованы $EW(\text{H}\alpha)$, заимствованные из работы [1].

Кроме того, дополнительно была определена $EW(H\alpha)$ для 16 звезд, которые не вошли в список эмиссионных объектов в работе [1], но попали

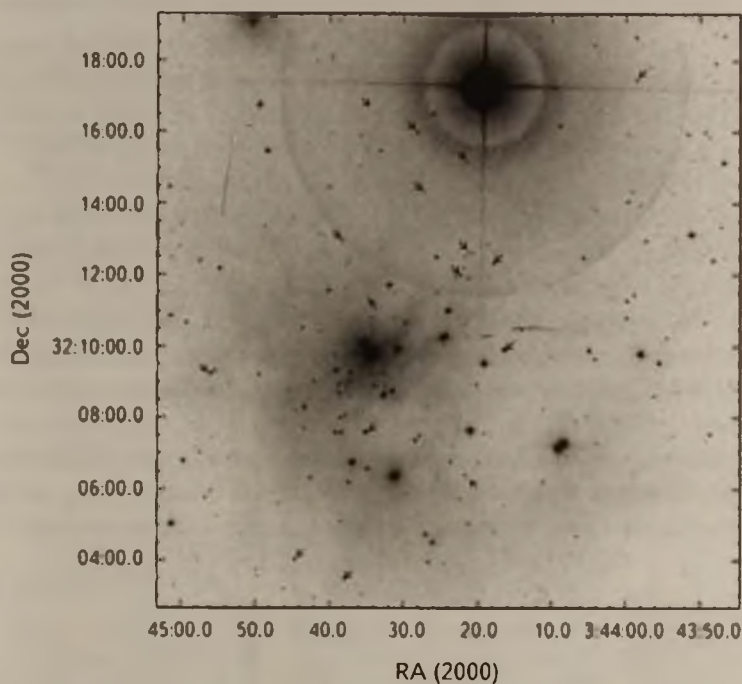


Рис.1. Область поиска $H\alpha$ эмиссионных звезд (DSS R2). Стрелочками показано положение эмиссионных звезд из табл.1.

Таблица 1

ЗВЕЗДЫ С $H\alpha$ ЭМИССИЕЙ

N	RA (2000)	Dec (2000)	$EW(H\alpha)$	[2], [3]
1*	3 ^h 43 ^m 58 ^s .57	32°17'27".7	нет конт.	66, -
2*	3 44 16.44	32 09 55.4	2	50, 50
3	3 44 17.88	32 12 20.7	20	84, 83
4	3 44 21.32	32 12 37.5	31	176, 167
5*	3 44 21.57	32 15 10.0	39	- -
6	3 44 21.62	32 06 24.6	2	109, 107
7	3 44 22.35	32 12 01.2	75	92, 91
8*	3 44 27.22	32 14 21.1	35	113, -
9	3 44 28.09	32 16 00.5	3	77, 76
10*	3 44 34.13	32 16 36.2	нет конт.	213, -
11*	3 44 34.78	32 11 18.4	4	129, 126
12	3 44 35.02	32 07 35.9	2	23, 23
13*	3 44 37.97	32 03 29.7	3	34, 34
14	3 44 38.34	32 12 59.6	2	123, 120
15	3 44 44.70	32 04 02.5	46	15, 15
16	3 44 56.10	32 09 15.1	11	20, 20

в область наших наблюдений. Их данные, а именно: координаты, $EW(H\alpha)$ и порядковые номера в каталогах из работ [2,3] приводятся в табл.1, а их положения отмечены на рис.1.

У семи, отмеченных звездочкой, объектов из табл.1 эмиссия была обнаружена впервые. Объект 5* не был включен в список членов скопления в работах [2,3], однако, был определен как вероятный кандидат в члены скопления в работе ([6], CXOANC J034421.6+321511, N 185 в табл.7). Отметим также, что две звезды, а именно 6-я и 12-я (LkNa94) в работе [1] были отмечены как абсорбционные. В нашем же случае у них обнаружена небольшая эмиссия. Это расхождение, скорее всего, результат переменной, о которой было упомянуто еще в работе [1]. По всей видимости, переменной $H\alpha$ эмиссии объясняется также и значительное расхождение между оценками эквивалентной ширины [2,3]. В некоторых случаях величина $EW(H\alpha)$ отличается более, чем в три раза, что трудно объяснить ошибками измерений.

В общей сложности в рассматриваемой области выявлено 359 членов скопления. Из них эмиссия обнаружена у 215-ти. У двух звезд из-за слабости континуума нам не удалось измерить эквивалентную ширину. В

Таблица 2

R ЗВЕЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА

N	RA (2000)	Dec (2000)	R_c	[2,3]
1	3 ^h 43 ^m 46 ^s .4	32 11 06	19.61	271, -
2	3 43 47.6	32 09 03	18.98	321, -
3	3 43 48.8	32 15 51	17.38	137, -
4	3 43 49.5	32 10 40	15.97	126, 123
5	3 43 51.2	32 13 09	12.48	21, 21
6	3 43 59.7	32 14 03	15.44	79, 78
7	3 44 00.5	32 04 33	18.86	334, -
8	3 44 04.2	32 13 50	16.81	112, 110
9	3 44 04.4	32 04 54	18.23	231, 210
10	3 44 06.0	32 15 32	18.46	242, -
11	3 44 06.2	32 07 07	17.30	159, 153
12	3 44 08.9	32 16 11	14.83	41, 41
13	3 44 11.6	32 03 13	17.94	43, 43
14	3 44 19.0	32 07 36	16.94	349, -
15	3 44 26.6	32 08 21	17.34	73, 72
16	3 44 27.2	32 14 21	16.53	133, -
17	3 44 21.6	32 15 10	16.87	M2007 185*
18	3 44 30.4	32 09 45	18.02	289, 260
19	3 44 31.4	32 16 36	18.43	213, -
20	3 44 34.7	32 16 00	18.70	210, -
21	3 44 35.0	32 15 31	17.24	152, -
22	3 44 35.9	32 15 53	16.59	154, -
23	3 44 56.1	32 09 15	14.95	20, 20

дальнейшем они будут рассматриваться как CTTS объекты. В четырех случаях $EW(H\alpha)$ определялась для двойного объекта в целом.

Для полноты выборки относительно R звездной величины, кроме данных, приводимых в [2,3], нами дополнительно были заимствованы данные фотометрии также из ряда работ [1,7-9]. Кроме того, для 23 звезд R звездная величина была определена нами (см. табл.2).

В общей сложности R звездная величина определена для 263 объектов в целом и для 194 звезд с $H\alpha$ эмиссией. Полный список объектов, в котором приводятся порядковые номера членов скопления из работ [2] и [3], координаты, R звездная величина, A_V , $EW(H\alpha)$, Sp , L_{bol} , T_{eff} , L_x и α , доступен в <http://arxiv.org/abs/1504.01156>.

3.2. *Статистический анализ звезд с $H\alpha$ эмиссией.* Одной из основных задач настоящей работы является оценка процентного состава объектов с $H\alpha$ эмиссией относительно всех PMS звезд скопления. На рис.2 представлены две функции светимости, построенные для всех звезд и звезд с эмиссией для видимой R звездной величины (слева) и

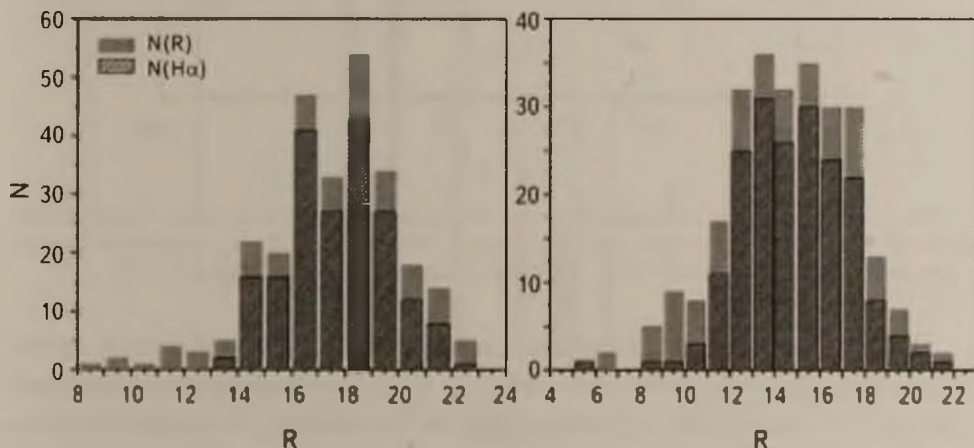


Рис.2. Функция светимости R для видимых величин (слева) и исправленных за поглощение (справа).

исправленной за поглощение (справа). Величина A_V заимствована из [3], а соотношение $A_R/A_V = 0.748$ из [10]. По распределению объектов относительно их видимой светимости можно заключить, что полнота выборки обеспечена для объектов с $R \leq 19.0$. По гистограмме также хорошо видно, что процентное содержание звезд с $H\alpha$ эмиссией меняется в зависимости от их звездных величин. Это также хорошо отражено на графике, представленном на рис.3, где показано распределение относительного числа эмиссионных звезд, в зависимости от их R звездной величины. Как показано на рис.3, процентное содержание эмиссионных звезд в интервале $14.0 \leq R \leq 20.0$ практически не меняется и достигает

~80%. Среди ярких звезд с $R \leq 13.0$ нет объектов с $\text{H}\alpha$ эмиссией, а среди слабых ($R \geq 20.0$) - процентное содержание эмиссионных звезд ниже. Уменьшение процентного содержания объектов с $\text{H}\alpha$ эмиссией среди более слабых звезд ($R \geq 20.0$), в первую очередь, конечно же, можно объяснить неполнотой выборки.

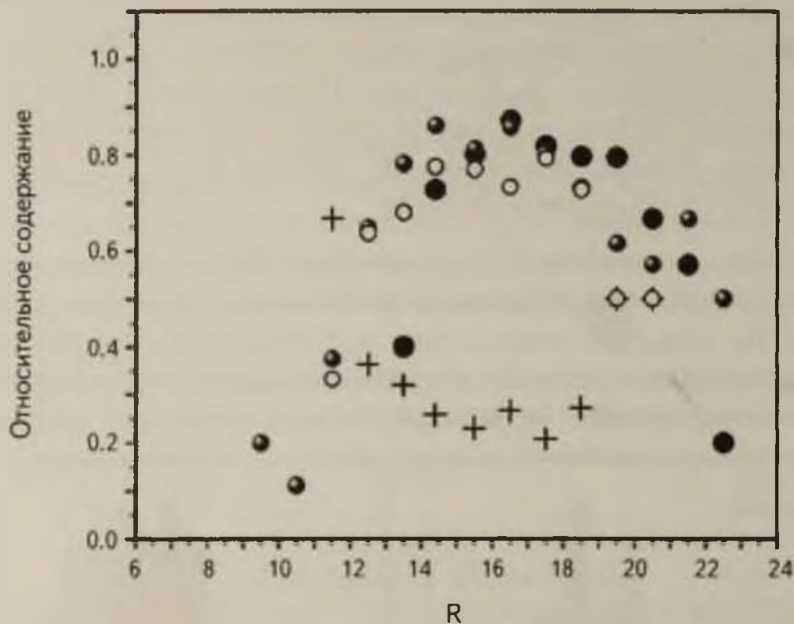


Рис.3. Относительное содержание звезд с $\text{H}\alpha$ эмиссией: черные кружки - относительно видимой R звездной величины, серые кружки - относительно $R - A_R$, открытые кружки - относительно содержания WTTs, крестики - процентное содержание CTTS.

Однако, принимая во внимание значительный градиент межзвездного поглощения по полю скопления ($0.0 \leq A_V \leq 14.5$), для построения реальной картины $\text{H}\alpha$ активности звездной популяции скопления, необходимо оценить процентное содержание звезд с $\text{H}\alpha$ эмиссией в зависимости не от видимой, а от звездной величины с учетом поправки за поглощение. И действительно, учет поглощения внес некоторые корректировки. На одну звездную величину сместился влево интервал 80%-го содержания эмиссионных звезд. В этом случае он соответствует $13.0 \leq R \leq 19.0$ (см. рис.3). Процент эмиссионных звезд среди относительно более ярких объектов ($R \leq 13.0$) ниже: от 10% до 60%, возрастаая с увеличением звездной величины.

Еще в работе [1] было обращено внимание на тот факт, что в скоплении IC 348, по сравнению с другими молодыми звездными скоплениями, аномально высокое содержание WTTs. Увеличение числа выявленных эмиссионных звезд (от 110 до 215) не внесло практически никаких существенных изменений, что отражено на диаграмме, представленной на рис.4. Около 60% всех звезд имеют $EW(\text{H}\alpha) \leq 10 \text{ \AA}$, что

совпадает с результатом, полученным в работе [1].

Для классификации эмиссионных звезд относительно эквивалентной ширины нами были использованы критерии, определенные в работе [11], согласно которым граничное значение $EW(H\alpha)$ для WTTS и CTTS зависит от их спектрального класса и составляет $3 \text{ \AA}$ для Sp ранее, чем K5, $10 \text{ \AA}$ - для объектов с Sp от K6 до M3 и $20 \text{ \AA}$ - для Sp позднее, чем M3. Согласно этой классификации процентное содержание WTTS и CTTS составляет 64% и 36%, соответственно (см. табл.3). Причем соотношение между количеством WTTS и CTTS меняется в зависимости от их яркости. В интервале $13.0 \leq R \leq 19.0$ WTTS/CTTS $\approx 3/1$ и понижается как для более ярких, так и более слабых звезд (см. рис.3).

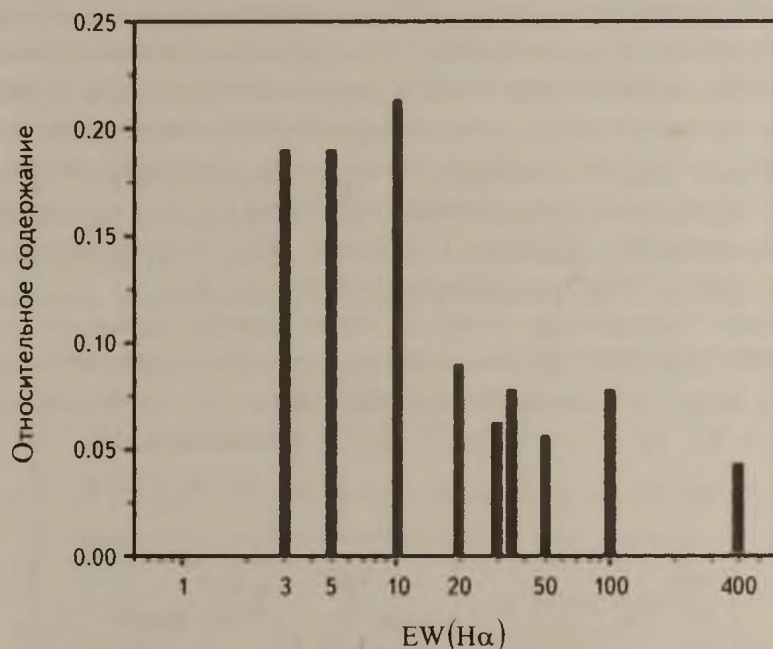


Рис.4. Относительное содержание эмиссионных звезд в зависимости от $EW(H\alpha)$.

Таблица 3

СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ $H\alpha$ АКТИВНОСТЬЮ И ДРУГИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Выборка (N)	WTTS	CTTS
$H\alpha$ эмиссия (214)	138	77
Ранее, чем K5 (34)	4	3
K6-M3 (84)	36	25
Позднее, чем M3 (164)	95	44
$-2.56 < \alpha < -1.8$ (Класс III) (182)	102	8
$-1.8 < \alpha < 0$ (Класс II) (142)	29	59
$\alpha > 0$ (Класс I) (21)	-	6
Lx (153)	89	25

Соотношение WTTS/CTTS для звезд меняется также и в зависимости от их спектрального класса (см. табл.3): для звезд с Sp K6-M3 содержание WTTS составляет 59% от общего числа эмиссионных звезд с Sp в данном интервале, а для объектов с Sp позже, чем M3 - уже 68%. Кроме того, следует отметить, что от ранних классов к более поздним процентное содержание эмиссионных звезд возрастает: у звезд ранних спектральных классов только у 20% выявлена $H\alpha$ эмиссия, а у объектов с Sp позднее, чем M3 - уже у 85%.

В табл.3, приводится количественная оценка WTTS и CTTS относительно других признаков активности молодых звездных объектов. Один из них - это инфракрасный избыток, характеризуемый наклоном распределения спектральной энергии (α) в среднем инфракрасном диапазоне, относительно которого определяется эволюционный класс молодых звездных объектов [12]. По данным, приведенным в табл.3, видно, что параметр α и интенсивность $H\alpha$ находятся в очень хорошем соответствии - среди эмиссионных звезд с $-2.56 < \alpha < -1.8$ подавляющее большинство составляют WTTS. Все 6 объектов с наибольшим инфракрасным избытком ($\alpha > 0$), у которых была выявлена $H\alpha$ эмиссия - объекты CTTS. Среди звезд II-го эволюционного класса доминируют объекты с сильной эмиссией (67%).

По данным, приведенным в табл.3, также хорошо видно, что среди звезд со слабой эмиссией, процентный состав рентгеновских источников значительно выше, что очень хорошо согласуется с результатами, полученными для IC 348 [13], а также в других скоплениях [14].

3.3. *Возраст.* На рис.5 показано положение WTTS и CTTS, а также

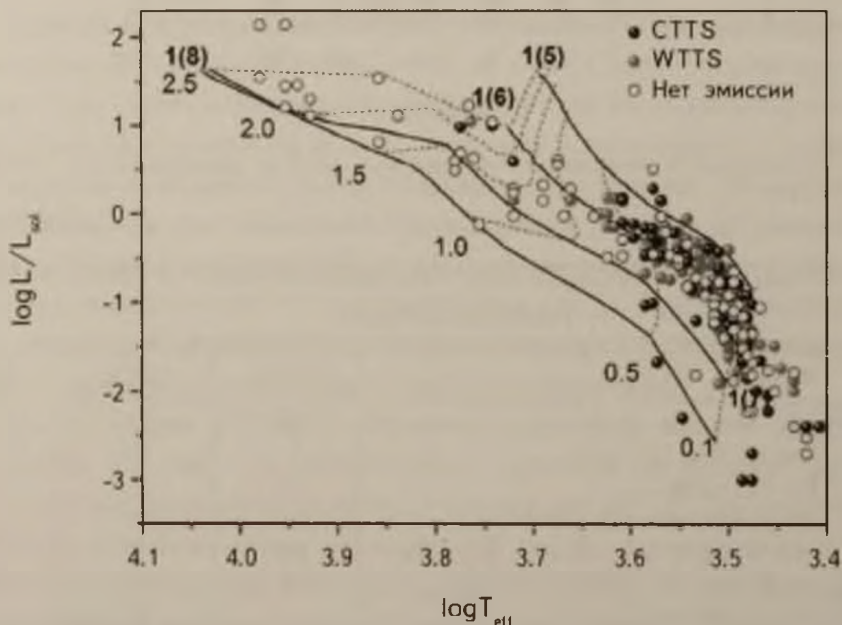


Рис.5. Положение звезд с различной степенью $H\alpha$ активности относительно изохрон.

звезд, у которых не была выявлена $\text{H}\alpha$ эмиссия, относительно изохрон, построенных по модели, предложенной в работе [15]. Отметим, что, в общей сложности T_{eff} и L_{bol} были определены для 300 звезд. По положению звезд на диаграмме хорошо видно, что между двумя классами относительно $\text{H}\alpha$ активности нет заметной разницы ни по массе, ни по возрасту. Расположение же звезд, в которых не была выявлена эмиссия, заметно отличается. Эти объекты можно разделить на две группы. Одна из них включает в себя объекты с массами меньше $1M_{\odot}$, которые по положению на диаграмме мало чем отличаются от эмиссионных звезд. И действительно, медианное значение возраста для всех этих трех категорий звездного населения скопления составляет $\sim 2 \cdot 10^6$ лет. Отметим, что возраст звездных объектов с массами менее, чем $0.4M_{\odot}$, был рассчитан по модели, предложенной в работе [16].

Медианное значение возраста неэмиссионных объектов с массами больше солнечной составляет $7 \cdot 10^6$ лет.

3.4. *Распределение звезд в скоплении.* Нами был рассмотрен также вопрос о распределении звезд с различной степенью активности относительно $\text{H}\alpha$ эмиссии по полю скопления. На рис.6 представлено радиальное распределение звездной плотности относительно центра

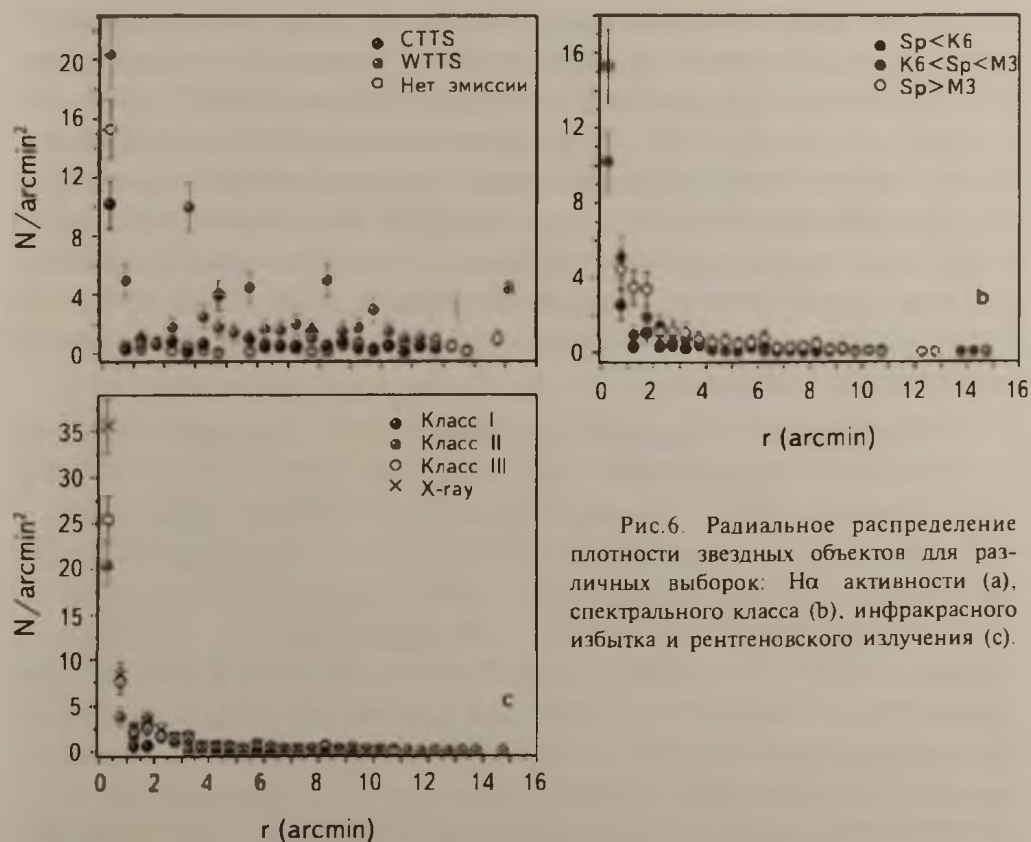


Рис.6. Радиальное распределение плотности звездных объектов для различных выборок: $\text{H}\alpha$ активности (а), спектрального класса (б), инфракрасного избытка и рентгеновского излучения (с).

скопления ($03^h44^m34^s$, $+32^\circ09'48''$, [17]) для различных выборок, которая определялась для каждого кольца с шириной $0'.5$ путем простого деления числа звезд на площадь поверхности. Центр скопления ассоциируется с самой яркой звездой HD 281159B. Мера неопределенности определялась согласно Пуассоновской статистики. На рис.6а представлено радиальное распределение плотности для звезд с разной степенью $H\alpha$ активности: CTTS, WTTS и объектов, в которых не выявлена эмиссия. Для сравнения, на рис.6b представлено радиальное распределение плотности для звезд с разными S_p , а на рис.6с - звездных объектов различных эволюционных классов, определенных на основании инфракрасного избытка среднего ИК-диапазона, а также рентгеновских источников.

По диаграммам хорошо видно, что как и было отмечено в предыдущих работах [4 и работы, упомянутые здесь], в центре скопления находится ядро с высокой плотностью. Среди объектов почти всех выборок, исключая звезды поздних спектральных классов и объекты I-го эволюционного класса, просматривается хорошо выраженная тенденция концентрироваться в области ядра с радиусом $\sim 1'$. Однако объекты различных выборок неодинаково распределены по полю скопления. Неэмиссионные звезды в подавляющем большинстве сконцентрированы в небольшой центральной области скопления с радиусом $\sim 30''$. Звезды с эмиссией относительно более равномерно распределены по полю скопления, что было отмечено еще в работе [1]. Однако они также имеют, хотя и не столь хорошо выраженную, тенденцию концентрироваться к центру, причем звезды WTTS в большей степени. Следует отметить, что в ядре скопления отсутствуют наиболее молодые звезды I-го эволюционного класса. Если рассматривать распределение объектов относительно их спектральных классов или, соответственно, масс, то здесь четко просматривается следующая картина - чем массивнее звездные объекты, тем они сильнее сконцентрированы в центральной области. В центре скопления сконцентрировано также подавляющее большинство рентгеновских источников.

4. *Обсуждение.* Активное исследование молодого звездного скопления IC 348, наряду с другими свойствами, позволило выявить в нем 215 звезд с $H\alpha$ эмиссией. После, пожалуй наиболее фундаментальной работы в этой области [1], где был опубликован список и результаты детального исследования 110-ти эмиссионных звезд, их количество практически удвоилось и достигло 215-ти. Число объектов значительно возросло в первую очередь за счет расширения области наблюдений в последующих работах. Если в работе [1] для значения оптического радиуса скопления приводится значение $4'.0$, то сейчас наиболее удаленный эмиссионный объект находится от HD 281159B на расстоянии $\sim 11'$. На одну звездную (с 19.0 до 20.0) величину возросла и полнота выборки с $H\alpha$ эмиссией,

что отражает функция светимости R (см. раздел 3.2).

Учет поглощения показал, что процентное содержание эмиссионных звезд относительно их яркости в R диапазоне имеет значительный градиент - он возрастает от ярких к более слабым и в интервале $13.0 \leq R \leq 19.0$ достигает $\sim 80\%$. По всей видимости, 80% это нижний предел оценки относительного количества звезд с $H\alpha$ активностью. Одна из возможных причин отсутствия $H\alpha$ эмиссии у остальных 20% - это переменность слабой эмиссии и абсорбции, о чем уже было отмечено в разделе 3.1, и что, принимая во внимание большой процент звезд с малым значением $EW(H\alpha)$, может внести весомую корректировку в оценку процента эмиссионных объектов. Вторая - двойственность объекта, что также может быть причиной переменности, и, наконец - ошибки измерений. Учет этих факторов несомненно должен поднять процентное содержание эмиссионных звезд и приблизить его к 100% . Процент эмиссионных звезд у более ярких и слабых объектов ниже. В первом случае - это отражение реальной действительности, во втором - в первую очередь, результат селекции, что не позволяет делать определенные выводы.

Как уже указывалось, в скоплении IC 348 наблюдается аномально высокое содержание WTTS звезд, по сравнению с другими областями звездообразования, такими как Tau-Aur [18], L1641 [19], NGC 2264 [20]. Увеличение числа объектов не изменило это соотношение. Около 60% эмиссионных звезд имеют $EW(H\alpha) \leq 10$ (см. рис.4). Более того, при классификации WTTS и CTTS относительно интенсивности $H\alpha$ эмиссии по критерию, предложенному авторами работы [11], процентное содержание WTTS даже несколько возросло и достигло 64% . Отметим, что в работе [1] оно составляло 58% . В связи с этим хотелось бы отметить, что практически такое же количественное соотношение между этими двумя классами объектов наблюдается в скоплении Ser OB3, возраст которого значительно меньше ($\sim 0.7 \cdot 10^6$ лет, [21]).

Это соотношение между двумя типами эмиссионных звезд, что по сути отражает их эволюционный статус, хорошо согласуется с классификацией эволюционного класса относительно инфракрасного избытка. Согласно этой классификации, объекты у которых $-2.56 < \alpha < -1.8$ принадлежат III-му, наиболее "старшему" поколению, составляют $\sim 50\%$ звездного населения скопления, а ко II-му эволюционному классу ($-1.8 < \alpha < 0$) относится только около 30% [12]. Более того, наблюдается хорошо выраженная зависимость между спектральным классом и углом наклона α . У звезд со спектральным классом ранее, чем K6 обнаружено только 11% объектов с оптически толстым диском, а среди объектов с Sp от K6 до M2 - уже 47% [12]. Это хорошо согласуется с данными, приведенными в табл.3, согласно которым, среди звезд с уже проэволю-

ционированным диском ($-2.56 < \alpha < -1.8$) подавляющее большинство имеют также слабую эмиссию, а среди объектов с оптически толстой дисковой составляющей ($-1.8 < \alpha < 0$) больший процент составляют CTTS объекты. Среди наиболее молодой звездной популяции I - го эволюционного класса ($\alpha > 0$) процент эмиссионных звезд очень мал и все они имеют сильную эмиссию. Предположительно, H α эмиссия испытывает сильное поглощение в плотной газопылевой составляющей этих молодых звезд и ее интенсивность лежит ниже порога чувствительности детекторов.

По всей видимости, именно из-за этого поглощения среди источников рентгеновского излучения ~70% составляют WTTS. Однако рентгеновское излучение наблюдается также и у звезд с сильной эмиссией. Если в первом случае рентгеновское излучение является, в основном, продуктом хромосферных вспышек, то у CTTS звезд - аккреционной активности, которая также предполагает наличие массивного диска. С другой стороны, массивный диск может в значительной степени поглощать рентгеновское излучение. Предположительно, именно это, а не отсутствие рентгеновской активности, является причиной того, что у значительного числа CTTS не наблюдается рентгеновское излучение.

Члены скопления неравномерно распределены по полю скопления. В центральной области, плотность которой более, чем в 20 раз превосходит среднюю плотность по полю скопления, сконцентрированы звезды ранних спектральных классов с меньшей степенью эмиссионной активности и меньшим инфракрасным избытком (см. раздел 3.4). Здесь также сконцентрировано большинство рентгеновских источников. Это связано с тем, что здесь, с одной стороны, расположены наиболее массивные звезды, рентгеновское излучение которых интенсивнее, с другой - объекты WTTS, в которых рентгеновское излучение испытывает значительно меньшее поглощение.

Кроме того, как было показано в разделе 3.3, расположенные в центре скопления более массивные звезды несколько старше. Медианное значение их возраста составляет $\sim 7 \cdot 10^6$ лет. Возраст остальных звезд, с массой меньше солнечной, составляет $\sim 2 \cdot 10^6$ лет.

Таким образом, согласно вышесказанному, можно заключить, что процесс звездообразования в скоплении имел, по крайней мере, два этапа. Причем, расположенные в центре скопления относительно более массивные звезды, которые на данный момент имеют низкий уровень активности, по всей видимости, относятся к поколению более раннего этапа звездообразования.

5. Заключение. Статистический анализ ~200 звезд с H α эмиссией, выявленных в скоплении IC 348, позволил сделать следующие выводы:

- выборка эмиссионных объектов укомплектована до $R \leq 20.0$ звездной

величины;

- оптический радиус скопления составляет $\sim 11'$;
- процентное содержание эмиссионных звезд повышается от ярких к более слабым объектам и в интервале $13.0 \leq R - A_R \leq 19.0$ достигает 80%, что является его нижним пределом;
- процентное содержание эмиссионных звезд повышается от более ранних к более поздним Sp ;
- соотношение между WTTS и CTTS составляет 64% и 36%, что хорошо согласуется с процентным соотношением объектов различных эволюционных классов, определенных относительно их инфракрасного избытка.
- подавляющее большинство источников рентгеновского излучения ($\sim 70\%$) являются WTTS звездами;
- возраст WTTS и CTTS составляет $\sim 2 \cdot 10^6$ лет;
- неэмиссионные звезды с массой меньше солнечной также имеют возраст $\sim 2 \cdot 10^6$ лет, возраст более ярких объектов составляет $\sim 7 \cdot 10^6$ лет;
- наиболее массивные звезды с низкой активностью сконцентрированы в небольшом плотном центральном ядре скопления с радиусом $\sim 1'$.

Работа поддержана 13-IC087 грантом Госкомитета по науке РА.

Авторы выражают благодарность Г.А.Арутюняну за оказанное содействие при написании работы.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В. А. Амбарцумяна, Армения, e-mail: elena@bao.sci.am

THE STATISTICAL ANALYSIS OF STARS WITH $H\alpha$ EMISSION IN IC 348 CLUSTER

E. H. NIKOGHOSYAN, A. V. VARDANYAN, K. G. KHACHATRYAN

In this work the results of the statistical analysis of the ~ 200 stars with $H\alpha$ emission in the IC 348 cluster are presented. The sample is completed up to $R \leq 20.0$. The optical radius is $\sim 11'$. The percentage of emission stars increases from bright to fainter objects and to the range of $13.0 \leq R - A_R \leq 19.0$ reaches 80%. The ratio between WTTS and CTTS is 64% and 36% respectively. The 70% of X-ray sources are WTTS. The age of WTTS and CTTS is $\sim 2 \cdot 10^6$ years. The age of the non emission stars with a mass less than solar is $\sim 2 \cdot 10^6$ years also, but non emission more massive objects are "older",

the age of them is $\sim 7 \cdot 10^6$ years. The most massive stars with a low level of activity is concentrated in a small dense central core of the cluster with a radius $\sim 1'$, and apparently, they are generated during an earlier wave of star formation in the cluster.

Key words: *star cluster: individual (IC 348) - stars: Ha emission-line: luminosity function: pre-main-sequence*

ЛИТЕРАТУРА

1. G.H.Herbig, *Astrophys. J.*, **497**, 736, 1998.
2. K.M.Flaherty, J.Muzerolle, G.Rieke et al., *Astron. J.*, **145**, 66, 2013.
3. K.L.Luhman, J.R.Stauffer, A.A.Muench et al., *Astrophys. J.*, **593**, 1093, 2003.
4. W.Herbst, in "Handbook of Star Forming Regions", ed. B. Reipurth, Vol.1, p.372, 2008.
5. K.Vollmann, T.Eversberg, *Astron. Nachr.*, **327**, 789, 2006.
6. A.A.Muench, C.J.Lada, K.L.Luhman et al., *Astron. J.*, **134**, 411, 2007.
7. R.E.Cohen, W.Herbst, E.C.Williams, *Astron. J.*, **127**, 1602, 2004.
8. L.Cieza, N.Baliber, *Astrophys. J.*, **649**, 862, 2006.
9. L.Cieza, D.L.Padgett, K.R.Stapelfeldt et al., *Astrophys. J.*, **667**, 308, 2007.
10. G.H.Rieke, M.J.Lebosky, *Astrophys. J.*, **288**, 618, 1985.
11. R.J.White, G.Basri, *Astrophys. J.*, **582**, 1109, 2003.
12. C.J.Lada, A.A.Muench, K.L.Luhman et al., *Astron. J.*, **131**, 1574, 2006.
13. B.Stelzer, T.Preibisch, F.Alexander et al., *Astron. Astrophys.*, **537**, 135, 2012.
14. E.Feigelson, L.Townsley, M.Gudel, K.Stassun, in "Protostars and Planets V", ed. B.Reipurth et al., p.313, 2006.
15. F.D'Antona, I.Mazzitelli, *Astrophys. J. Suppl.*, **90**, 467, 1994.
16. I.Baraffe, G.Chabrier, F.Allard, P.H.Hauschildt, *Astron. Astrophys.*, **337**, 403, 1998;
17. Z.-Y.Wu, X.Zhou, J.Ma, C.-H.Du, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **399**, 2146, 2009;
18. S.J.Kenyon, M.Gomez, B.A.Whitney, in "Handbook of Star Forming Regions", ed. B.Reipurth et al., Vol. I, p.405, 2008.
19. J.G.A.Wouterloot, J.Brand, *Astron. Astrophys.*, **265**, 144, 1992.
20. S.E.Dahm, T.Simon, *Astron. J.*, **129**, 829, 2005.
21. E.H.Nikoghosyan, *Astrophysics*, **56**, 31, 2013.