

УДК: 524.42

МОЛОДЫЕ ОЧАГИ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ В О-АССОЦИАЦИЯХ. II

А. В. ОСКАНЯН

Поступила 26 марта 1990

Принята к печати 13 сентября 1990

Анализ ансамбля О-ассоциаций показал, что большинство молодых очагов звездообразования находится в О-ассоциациях, в которых встречается хотя бы одно сп-скопление. Время жизни области Н II, ассоциирующей с сп-скоплением, оценено в 10^5 — 10^6 лет, что значительно меньше времени жизни О-ассоциаций. На основе указанных результатов ансамбль О-ассоциаций разделен по возрасту. В группе наиболее молодых О-ассоциаций наблюдается много молодых очагов звездообразования. В группе более старых О-ассоциаций содержатся ос-скопления и изолированные кратные системы типа Трапеция. В наиболее старых О-ассоциациях не встречаются скопления. Последние две группы О-ассоциаций бедны молодыми очагами звездообразования.

1. *Введение.* Как уже отмечалось в 1 части работы, малочисленность МОЗ в О-ассоциациях объясняется разницей возрастов этих объектов [1]. Однако естественно предположить, что рассматриваемые О-ассоциации имеют определенный разброс в возрастах и что МОЗ чаще всего встречаются в относительно молодых О-ассоциациях, в которых все еще сохраняется определенное количество вещества, способного превратиться в звезды. Поэтому рассмотрен вопрос о морфологических особенностях и возрастах тех О-ассоциаций, в которых встречаются МОЗ.

В качестве возможного индикатора относительной молодости некоторых из рассматриваемых О-ассоциаций мы взяли наличие в них скоплений, ассоциирующихся со светящимися газовыми туманностями (тип сп по [2]), в отличие от О-ассоциаций, в которых наблюдаются только скопления типа ос по [2]. При этом мы исходим из предположения, что газ, ассоциирующийся со скоплением, рассеивается быстрее, чем само звездное скопление (см., например, [3]). Если это предположение верно, тогда можно ожидать, что О-ассоциации, содержащие только скопления, не ассоциирующиеся с газом, являются относительно старыми образованиями.

2. *Использованный материал.* Рассмотрены только те О-ассоциации каталога [4], которые вошли в списки [5, 6], за исключением Суг ОВ 2 [7] и составляют около 50% всех известных О-ассоциаций.

Данные о МОЗ, об областях Н II, обнаруженных также в радиодиапазоне (в основном на частотах 1.4 ГГц и 5.0 ГГц), молекулярных облаках, о звездных скоплениях и диффузных туманностях взяты в основном из работ [1, 5, 6, 8—33] и цитируемой в них литературы, на основе следующих критериев:

1. Для скоплений и диффузных туманностей:

Расстояния до данного объекта— D_1 , опубликованные после 1949 г. и цитированные в [4, 34], близки к расстоянию— D_a до соответствующей О-ассоциации, т. е. $D_a - D_1 \leq \pm 150$ пк. Расстояния до рассматриваемых О-ассоциаций взяты из [4, 35].

2. Для МОЗ и молекулярных облаков, проектирующихся (по l и b) в пределах ассоциаций, приводимых в [5, 35]:

Объект считается ее членом, если осуществляется хотя бы одно из условий:

а) отождествлен другими авторами с каким-либо скоплением или диффузной туманностью, входящими в состав данной О-ассоциации;

б) ассоциируется с объектом, наблюдаемым в оптическом диапазоне. значение расстояния— D которого близко расстоянию рассматриваемой О-ассоциации, $D - D_a \leq \pm 150$ пк;

в) лучевая скорость объекта и лучевые скорости скоплений типа сп (их газовых составляющих) и диффузных туманностей—членов данной О-ассоциации близки друг к другу ($\Delta V \leq \pm 7$ км/с).

3. *Возрасты открытых скоплений.* В [36] было высказано предположение, что основная часть галактических областей Н II, обнаруженных на частоте 5 ГГц [37], связана с О-ассоциациями. Просмотр списков областей Н II, обнаруженных на той же частоте [8, 9], показывает, что некоторые из них являются сп-скоплениями. Предположим, что большинство вышеуказанных областей Н II является сп-скоплениями, входящими в О-ассоциации. Тогда оценка времени жизни областей Н II одновременно является и оценкой возраста О-ассоциаций, богатых сп-скоплениями.

За время жизни области Н II можно принять интервал времени, в течение которого она, расширяясь, переходит в ELD-область Н II с электронной плотностью $N_e \approx 5-10$ см⁻³ [38]. Для оценки этого интервала рассмотрены следующие две эволюционные модели:

а) Эволюция при постоянном значении массы области Н II (density bounded—db). Область Н II расширяется в вакуум и в нее не вовлекается нейтральное вещество; б) Эволюция при ограничении об-

ласти ионизационным фронтом (ionization bounded—ib). В процессе расширения области Н II ионизационный фронт поглощает массы нейтрального вещества, находящегося перед ним.

В первом случае сохраняется постоянным соотношение $N_e \cdot R^3$, а во втором $R \cdot N_e^{2/3}$. Предполагая, что начальные значения электронной плотности и радиуса соответственно равны N_{e0} и R_0 , а значение N_e в конечной стадии эволюции области Н II соответственно равно N_{e1} , можно для рассматриваемых случаев определить соответствующие значения радиусов R_{1db} и R_{1ib} по формулам

$$R_{1db} = R_0 \left(\frac{N_{e0}}{N_{e1}} \right)^{1/3} \quad \text{и} \quad R_{1ib} = R_0 \left(\frac{N_{e0}}{N_{e1}} \right)^{2/3}. \quad (1)$$

Если области Н II в обоих случаях расширяются с одинаковой и постоянной скоростью V , то интервалы времени T_{db} и T_{ib} , необходимые для достижения областью Н II заданной величины N_{e1} , равны

$$T_{db} = \frac{R_0}{V} \left(\frac{N_{e0}}{N_{e1}} \right)^{1/3} \quad \text{и} \quad T_{ib} = \frac{R_0}{V} \left(\frac{N_{e0}}{N_{e1}} \right)^{2/3}. \quad (2)$$

В табл. 1 приведен ряд значений величины N_{e1} и соответствующие интервалы времени, требуемые для их достижения, при начальных значениях $R_0 = 0.1$ пк и $N_{e0} = 10^4 \text{ см}^{-3}$, принятых в [12]. Предполагая, что скорость расширения области Н II равна ее средней турбулентной скорости $\langle V_t \rangle_{rms} = 15 \text{ км с}^{-1}$, вычисленной для областей Н II списка [9], получаем, что в течение 10^3 — 10^5 лет плотность области Н II становится порядка величины плотности ELD-области Н II. К такой же величине продолжительности жизни, — $5 \cdot 10^5$ лет, пришли в работе [10] на основе подсчета чисел О-звезд в областях Н II, вне их продолжительности жизни О-звезд на главной последовательности.

Таблица 1
ИНТЕРВАЛЫ ВРЕМЕНИ,
НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ
ОБЛАСТЬЮ Н II ЗАДАННЫХ
ЗНАЧЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ
ПЛОТНОСТЕЙ

$N_{e1} (\text{см}^{-3})$	1000	100	10	5
$T_{ib} (10^5 \text{ лет})$	0.3	1.4	6.5	10.3
$T_{db} (10^5 \text{ лет})$	0.1	0.3	0.7	0.8

Ненаблюдаемость светящегося газа в ос-скоплениях может быть альтернативно объяснена отсутствием звезд, способных ионизовать значи-

тельные объемы нейтрального газа. Для выяснения этого рассмотрены современные данные о спектрах звезд, входящих в состав рассматриваемых скоплений. И использованные данные показывают, что в СП-скоплениях встречаются звезды более ранних спектральных типов (O4—O7), чем в ОС-скоплениях (O7—B0). Поскольку звезды спектральных подклассов O7—B0 все же в состоянии ионизовать значительные объемы газа, то ненаблюдаемость областей H II свидетельствует в пользу реального отсутствия заметного количества газа в ОС-скоплениях. Необходимо отметить, что такие же выводы были сделаны ранее Б. Е. Маркаряном [3].

Таким образом, скопление, эволюционируя, проходит через следующие четыре стадии:

а) Новообразованное ИК-скопление. Звезды окружены непрозрачными пылевыми оболочками, которые полностью поглощают их излучение и переизлучают его в ИК-диапазоне.

б) Пылевые оболочки рассеиваются со временем и скопление становится наблюдаемым в оптическом диапазоне. Кроме того, в том же диапазоне наблюдаемы ионизованные ими облака водорода. Поэтому скопление принадлежит к типу СП.

в) Газовая составляющая СП-скопления рассеивается быстрее, чем его звездная составляющая. За время порядка 10^5 — 10^6 лет скопление превращается в ОС-скопление. Звезды эволюционируют от ранних подклассов O в СП-скоплениях к более поздним O-подклассам в ОС-скоплениях.

г) В дальнейшем ОС-скопление распадается и его звездная составляющая рассеивается по всему полю O-ассоциации.

Указанная эволюционная картина согласуется с оценками возрастов скоплений, которые приведены в [39, 40]. По этим данным возрасты для большинства СП-скоплений в рассматриваемых O-ассоциациях порядка 10^6 лет, тогда как у ОС-скоплений они оцениваются в 10^7 лет и более. Необходимо также отметить, что возрасты СП-скоплений в [39, 40] оказываются больше, чем продолжительности жизни областей H II, оцененные в [10] и в данной работе.

4. *Классификация O-ассоциаций по возрастам.* Исходя из того, что время жизни СП-скопления на порядок величины меньше, чем время жизни O-ассоциаций, $\sim 10^7$ лет, рассматриваемые O-ассоциации можно разделить на три возрастные группы. В эти группы соответственно входят: а) O-ассоциации с хотя бы одним СП-скоплением (Sgr OB 1, Ser OB 1, Vul OB 1, Ser OB 2, Ser OB 1, Cas OB 6, Gem OB 1, Ori OB 1, Mon OB 1, Mon OB 2, Pup OB 1, Car OB 1 и Sco OB 1). Во всех указанных O-ассоциациях, за исключением Pup OB 1, встречаются МОЗ. Кроме того, в них встречается большое число ИК-источников с интенсивным истечением вещества. В состав O-ассоциаций этой группы

входят 33 диффузные туманности, не ассоциирующиеся со скоплениями, — в среднем 2.5 таких туманностей на одну О-ассоциацию.

б) О-ассоциации, в которые входят только ос-скопления и изолированные кратные системы типа Трапеции* (Cyg OB 3, Cyg OB 1, Cas OB 2, Cas OB 5, Per OB 1, Aur OB 1, Cen OB 1, Ara OB 1, Sgr OB 4, Ser OB 2, Cas OB 1, CMa OB 1, Vel OB 1, Lac OB 1, Cas OB 4, Cam OB 1 и Per OB 2). Наличие МОЗ известно лишь в О-ассоциациях Vel OB 1, Ara OB 1 и Per OB 2. Число диффузных туманностей, не ассоциирующихся со скоплениями, равно 22, т. е. в среднем 1.3 таких туманностей на одну О-ассоциацию.

в) О-ассоциации, для которых неизвестно наличие каких-либо структурных особенностей, кроме диффузных туманностей, не возбуждаемых скоплениями (Sgr OB 6, Ser OB 3, Sco OB 2, Cyg OB 4, Cyg OB 2, Ser-Lac OB 1 и Cas OB 7). МОЗ, в котором, кроме того, обнаружен источник с сильным истечением вещества, найден в Ser OB 3. МОЗ также наблюдается и в Sco OB 2. В О-ассоциациях настоящей группы наблюдаются только 4 диффузных туманности, не возбуждаемых скоплениями — в среднем 0.7 таких туманностей на одну О-ассоциацию.

На основе данных, опубликованных в [3, 6, 7, 16, 35, 41—48], составлен список вероятного звездного состава рассмотренных О-ассоциаций. Используя данные о спектральных классах звезд, приведенных в [41, 42, 49, 50], из каждой О-ассоциации выделены семь звезд с наиболее ранними спектральными классами. На рис. 1 приведены совместные гистограммы распределения указанных звезд по спектральным классам для О-ассоциаций каждой отдельной группы. Для указанных гистограмм характерно смещение пика распределения от более ранних подклассов спектрального класса О к более поздним, при переходе от О-ассоциаций первой группы к третьей (I—O6, O7; II—O9; III—B0, B1). Следует отметить, что горячее крыло гистограммы для О-ассоциаций третьей группы обусловлено звездным составом ассоциации Cyg OB 2.

Деление О-ассоциаций на три возрастные группы, идеи, высказанные по скоплениям, и распределения, приведенные на рис. 1, наводят на предположение о том, что О-ассоциации эволюционируют следующим образом. В наиболее молодых О-ассоциациях (первая группа) встречается большое количество МОЗ и ИК-источников с интенсивным истечением вещества, поскольку в этих О-ассоциациях еще не израсходован весь материал, способный превратиться в звезды. Молодые скопления звезд, у которых уже рассеялись окружающие их члены—непрозрачные пылевые оболочки, все еще погружены в области H II. В более старых О-ассоциациях (вторая группа) почти что израсходован материал, способный превращаться в

* Изолированные кратные системы типа Трапеции можно рассматривать как открытые скопления с небольшим количеством членов.

звезды, а газ скоплений типа СП уже рассеян в поле Галактики и скопления превратились в ОС-скопления. В наиболее старых О-ассоциациях (третья группа) рассеяны ОС-скопления. Звезды, которые раньше входили в состав скоплений, рассеяны по всему объему О-ассоциации.

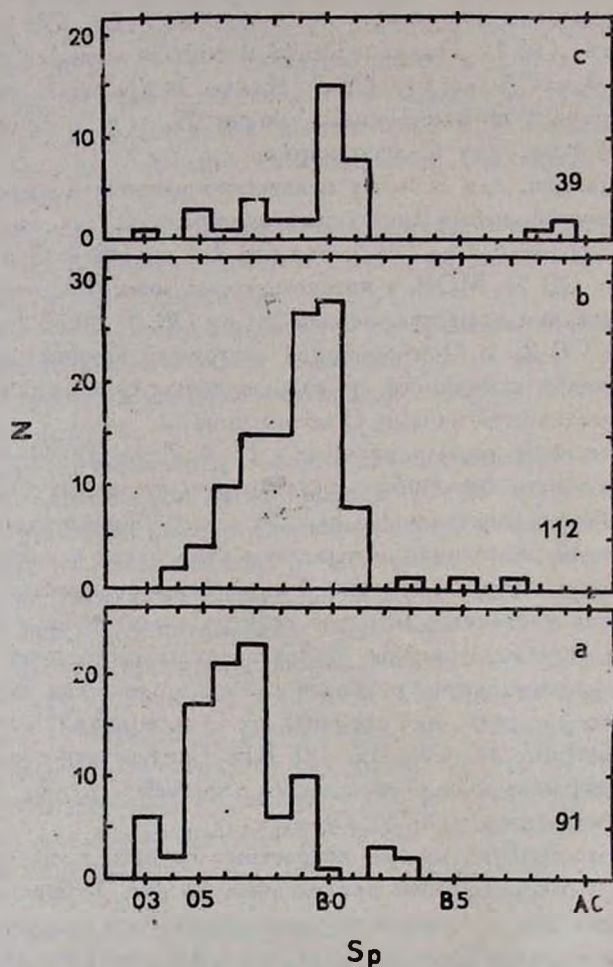


Рис. 1. Распределение звезд с наиболее ранними спектральными классами в О-ассоциациях, принадлежащих разным возрастным группам. а) О-ассоциации первой возрастной группы—для 91 звезд; б) О-ассоциации второй возрастной группы—для 112 звезд; в) О-ассоциации третьей возрастной группы—для 39 звезд. По оси абсцисс приведены спектральные классы звезд, а по оси ординат числа звезд в столбцах гистограмм.

Согласно [51, 52] не все звезды О-ассоциации возникают одновременно, и образование отдельных групп происходит в сравнительно небольших объемах по сравнению с объемом всей О-ассоциации. Одновременное

присутствие в О-ассоциациях Sgr OB 1, Cep OB 2, Gem OB 1, Ori OB 1 и Sco OB 1 образований, имеющих разные возрасты, а именно МОЗ, сп-скоплений и ос-скоплений. еще раз подчеркивает, что образование звезд происходит в небольших, по сравнению с объемом О-ассоциации, объемах пространства, и что группы звезд в О-ассоциации не образуются одновременно.

Сравнение с данными других работ, также указывает на то, что скопления, входящие в состав О-ассоциаций первой группы, моложе, чем скопления, входящие в О-ассоциации второй группы. Для целого ряда скоплений в [53] вычислены значения величины A_{12} , эквивалентной $U - V$ цвету звезд. Считается, что величина A_{12} является индикатором возраста скопления. При этом более молодым скоплениям соответствуют меньшие значения A_{12} [53]. На рис. 2 приведено распределение скоплений по параметру A_{12} , типу скопления и принадлежности к возрастной группе О-ассоциаций. Распределение показывает, что, как правило, сп-скопления моложе, чем ос-скопления и что возраст скоплений в О-ассоциациях первой группы в основном меньше, чем возраст скоплений в О-ассоциациях второй группы. На рис. 3 приведено аналогичное распределение, но вместо параметра A_{12} использованы возрасты скоплений, взятые из [39, 40]. Характер распределения такой же, что и на рис. 2. Необходимо отметить, что два сп-скопления, а именно, NGC 1976 и NGC 2264, имеют очень большие возрасты, соответственно $2.5 \cdot 10^7$ и $2 \cdot 10^7$ лет. Эти величины на порядок больше возрастов остальных сп-скоплений. Кроме того, они не согласуются с оценками времени жизни областей H II, полученными в [10] и в данной работе. Это несоответствие требует дальнейших исследований.

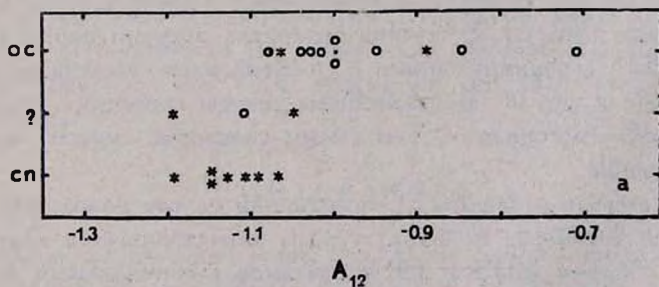


Рис. 2. Распределение тип скопления — величина A_{12} . ос — ос-скопление, сп — сп-скопление, ? — тип скопления неопределен, (*) — скопление принадлежит к О-ассоциациям первой возрастной группы, O — скопление принадлежит к О-ассоциациям второй возрастной группы.

В О-ассоциациях всех трех возрастных групп встречаются диффузные туманности, не возбуждаемые скоплениями. Как уже отмечалось, относи-

тельная доля таких объектов на одну О-ассоциацию уменьшается с увеличением возрастной группы О-ассоциаций. Возможно, что эти объекты являются своего рода реликтами газовых облаков, возбуждаемые генетически не связанными, а случайно встреченными с ними О- и В-звездами.

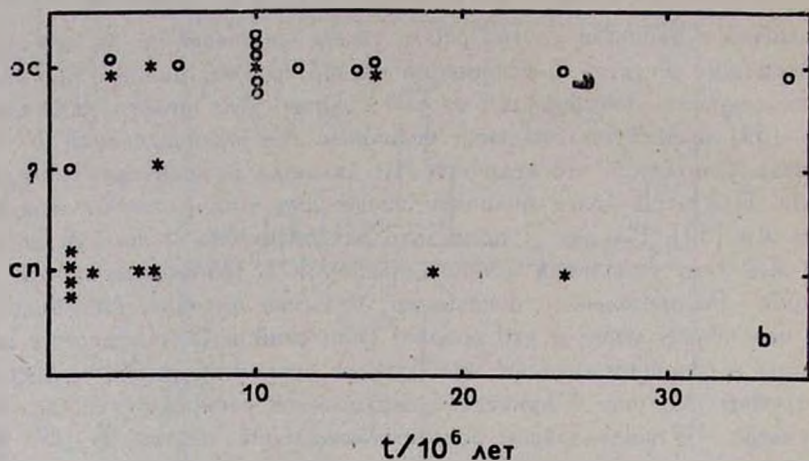


Рис. 3. Распределение тип скопления — возраст t . ос — ос-скопление, сп — сп-скопление, ? — тип скопления неопределен, (*) — скопление принадлежит к О-ассоциациям первой возрастной группы, О — скопление принадлежит к О-ассоциациям второй возрастной группы.

5. Основные выводы:

а) После рассеяния плотных пылевых оболочек, окружающих новообразованные звезды, комплекс ИК-источников превращается в обыкновенное скопление типа сп. В течение интервала времени порядка 10^5 — 10^6 лет область Н II, ассоциирующаяся с сп-скоплением, рассеивается и скопление переходит в тип ос. В дальнейшем звезды скопления рассеиваются в пределах всей О-ассоциации. Тем самым скопление может прекратить свое существование.

б) Предлагается разделение О-ассоциаций на три возрастные группы:

— Первая (наиболее молодая) группа характеризуется наличием сп-скоплений и обилием МОЗ и ИК-источников с интенсивным истечением вещества;

— вторая группа — наличием ос-скоплений, которые образованы из сп-скоплений, из которых газ уже рассеялся;

— третья (наиболее взрослая) группа, содержащая наиболее старые, бесструктурные О-ассоциации. Звездное поле этих О-ассоциаций образовано из членов распавшихся уже скоплений, которые когда-то входили в состав этих О-ассоциаций;

в) возможно, что некоторые, если не все, диффузные туманности, не возбуждаемые скоплениями, являются реликтами газовых туманностей, возбуждаемые генетически не связанными, а случайно встречающимися с ними О- и В звездами.

Автор считает своим приятным долгом поблагодарить академика В. А. Амбарцумяна за обсуждение и замечания, сделанные в связи с настоящей серией работ. Считаю своим долгом отдать дань памяти академику Б. Е. Маркаряну и В. С. Осканяну за проявленный интерес и стороннюю поддержку данного исследования. Автор благодарен В. Г. Горбачкову, А. Ф. Холтыгину, Н. Н. Самусю и Н. В. Вошинникову за замечания, сделанные при обсуждении работ.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

THE REGIONS OF ACTIVE STAR FORMATION IN O—ASSOCIATIONS. II

A. V. OSKANYAN

Analysis of the ensemble of O-associations show that most of the regions of active star formation are in O-associations in which one or more cn type cluster exist. The lifetime of HII region associated with a cn type cluster is estimated to be of the order of 10^5 — 10^6 years which is considerably smaller than the lifetime of the O-association. Following these results, the ensemble of the O-associations is age qualified. There are a lot of regions of active star formation in the group of the youngest O-associations. The group of older O-associations contains oc type clusters and isolated Trapezium type systems. There are no signs of clusters in the oldest O—associations. The regions of active star formation are very sparse in the last two groups of the O-associations.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. J. Habing, F. P. Israel, *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*, 17, 345, 1979.
2. J. W. Sulentic, W. G. Tifft, *The Revised NGC of Nonstellar Astronomical Objects*, Univ. Arizona Press, Tucson, Arizona, 1973.
3. Б. Е. Маркарян, *Нестационарные звезды*, ред. М. А. Аракелян, Изд. АН АрмССР, Ереван, 1957, стр. 169.
4. G. Alter, J. Ruprecht, V. Vanýsek, *Catalogue of Star Clusters and Associations*, eds. G. Alter, B. Balázs, J. Ruprecht, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1970.
5. Б. Е. Маркарян, *Докл. АН АрмССР*, 15, 11, 1952.
6. W. W. Morgan, A. E. Whitford, A. D. Code, *Astrophys. J.*, 118, 318, 1953.

7. L. Münch, W. W. Morgan, *Astrophys. J.*, 118, 161, 1953.
8. T. L. Wilson, P. G. Mezger, F. F. Gardner, D. K. Milne, *Astron. and Astrophys.*, 6, 364, 1970.
9. E. C. Reizenstein III, T. L. Wilson, B. F. Burke, P. G. Mezger, W. J. Altenhoff, *Astron. and Astrophys.*, 4, 357, 1970.
10. L. F. Smith, P. Biermann, P. G. Mezger, *Astron. and Astrophys.*, 66, 65, 1973.
11. J. E. Wink, T. L. Wilson, J. H. Beging, *Astron. and Astrophys.*, 127, 211, 1983.
12. J. Schraml, P. G. Mezger, *Astrophys. J.*, 156, 269, 1969.
13. M. A. Braz, N. Epchtein, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 54, 167, 1983.
14. M. Rowan—Robinson, *Astrophys. J.*, 234, 111, 1979.
15. L. Blitz, M. Fich, A. A. Stark, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 49, 183, 1982.
16. S. Sharpless, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 4, 257, 1959.
17. B. E. Turner, D. Buhl, E. B. Churchwell, P. G. Mezger, L. E. Snyder, *Astron. and Astrophys.*, 4, 165, 1970.
18. M. Fich, L. Blitz, *Astrophys. J.*, 279, 125, 1984.
19. H. M. Dyck, *Astron. J.*, 82, 129, 1977.
20. M. Zeilik II, *Astron. J.*, 84, 341, 1973.
21. C. J. Lada, *Prepr. Steward Observ.*, № 571.
22. M. Fellt, E. Churchwell, *Astrophys. J.*, 160, 43, 1970.
23. J. R. Walsh, N. J. White, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 199, 9p, 1982.
24. W. J. Webster, Jr., W. J. Altenhoff, J. E. Wink, *Astron. J.*, 76, 677, 1971.
25. Y. Fukui, T. Iguchi, *Publ. Astron. Soc. Jap.*, 29, 63, 1977.
26. B. E. Turner, *Astrophys. Lett.*, 6, 99, 1970.
27. M. Morris, G. R. Knapp, *Astrophys. J.*, 204, 415, 1976.
28. J. G. A. Wouterloot, C. M. Walmsley, *Astron. and Astrophys.*, 168, 237, 1986.
29. N. Kaifu, M. Morimoto, *Publ. Astron. Soc. Jap.*, 21, 203, 1969.
30. I. Furniss, R. E. Jennings, A. F. M. Moorwood, *Astrophys. J.*, 176, L105, 1972.
31. G. H. Riske, F. J. Low, D. E. Kleinmann, *Astrophys. J.*, 186, L7, 1973.
32. L. E. B. Johansson, B. Höglund, A. Winnberg, Nguyen-Q-Rieu, W. M. Goss, *Astrophys. J.*, 189, 455, 1974.
33. J. L. Caswell, B. J. Robinson, *Austral. J. Phys.*, 27, 557, 1974.
34. J. Ruprecht, B. Balázs, R. E. White, *Catalogue of Star Clusters and Associations Suppl. 1, Part B?*, ed. B. Balázs, Akadémiai Kiado, Budapest, 1981.
35. J. Ruprecht, *Trans. IAU, XII B*, 348, ed. J. —C. Pecker, Academic Press, London New York, 1966.
36. А. В. Осканян, *Астрофизика*, 30, 128, 1989.
37. D. Downes, T. L. Wilson, J. Biegling, J. Wink, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 40, 379, 1980.
38. P. G. Mezger, *Astron. and Astrophys.*, 70, 565, 1978.
39. А. М. Эйзенсон, О. С. Язык, *Астрон. ж.*, 65, 330, 1988.
40. А. М. Эйзенсон, О. С. Язык, С. И. Хомик, *Астрон. ж.*, 65, 730, 1988.
41. R. M. Humphreys, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 39, 309, 1978.
42. В. С. Аведисова, Г. И. Кондратенко, *Науч. инф. Астрон. сов. АН СССР*, 56, 59, 1984.
43. S. Sharpless, *Astrophys. J.*, 119, 334, 1954.
44. Б. Е. Маркарян, *Сообщ. Бюракан. обсерв.*, 5, 3, 1950.
45. Б. Е. Маркарян, *Сообщ. Бюракан. обсерв.*, 9, 3, 1951.
46. В. А. Амбарцумян, Б. Е. Маркарян, *Сообщ. Бюракан. обсерв.*, 2, 3, 1949.
47. Б. Е. Маркарян, *Сообщ. Бюракан. обсерв.*, 11, 3, 1953.

- 48. Б. Е. Маркарян, Сообщ. Бюракан. обсерв., 11, 19, 1953.
- 49. C. Cruz—González, E. Recillas—Cruz, R. Costero, M. Pelmbert, S. Torres—Pelmbert, Rev. Mex. Astron. y Astrofis., 1, 211, 1974.
- 50. G. Goy, Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., 42, 91, 1980.
- 51. В. А. Амбарцумян, Вестн. АН СССР, 27, 11, 45, 1957.
- 52. V. A. Ambartsumian, L. V. Mirzoyan, Birth and Evolution of Massive Stars and Stellar Groups, ed. W. Boland, H. van Woerden, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht/Boston/Lancaster/Tokyo, Astrophys. and Space Sci. Library, 120, 67, 1985.
- 53. G. L. H. Harris, Astrophys. J. Suppl. Ser., 30, 451, 1976.