

УДК:524.3-52

О СВЯЗИ ОБЛАСТЕЙ СОВРЕМЕННОГО  
ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ СО ЗВЕЗДНЫМИ  
АССОЦИАЦИЯМИ

В.А.АМБАРЦУМЯН, Р.А.КАНДАЛЯН

Поступила 11 января 1989

Рассматривается связь областей современного звездообразования со звездными ассоциациями. Установлено, что мазерные источники  $\text{H}_2\text{O}$ , встречающиеся в областях современного звездообразования и являющиеся весьма характерными для них объектами, входят в звездные ассоциации. Исходя из свойств мазерных источников  $\text{H}_2\text{O}$  предлагается разделить их на два класса. К первому классу отнесены  $\text{H}_2\text{O}$ -мазеры, входящие в состав звездных ассоциаций, а ко второму — мазеры вне этих областей. Построена функция светимости  $\text{H}_2\text{O}$ -источников. Рассматриваются свойства мазерных источников в областях звездообразования и обсуждается их связь с окружающими объектами.

**1. Введение.** В последние годы астрономы большое внимание уделяют исследованиям межзвездных плотных и гигантских молекулярных облаков. Большая роль в обнаружении и исследовании этих образований принадлежит методу спектральной радиоастрономии, поскольку в оптической области спектра поглощение волн в облаках может составлять десятки звездных величин, вследствие чего внутренние части этих областей недоступны для наблюдений методами оптической астрономии, а в инфракрасном диапазоне они доступны лишь отчасти.

Исследования показали, что во многих более подробно исследованных случаях плотные облака содержат области активного звездообразования. Они получили название «Области современного звездообразования» (ОСЗ). В результате главным образом применения спектральных методов радиоастрономии оказалось возможным распространить исследования на наиболее ранние стадии формирования звезд.

Газо-пылевой комплекс туманности Ориона (ассоциация Орион OB1) является наиболее известным и изученным очагом звездообразования. Он расположен между спиральными рукавами Персея и Стрельца. Известная туманность Клейнмена-Лоу (KL) в этой ассоциации находится на расстоянии  $\leq 0.2$  пк от звезд Тραπεции Ориона. Она содержит в себе группу инфракрасных источников. Инфракрасная светимость KL достигает  $10^5 L_{\odot}$ , а линейный размер меньше 0.05 пк. В окрестностях инфракрасных источни-



ков расположены мазеры водяного пара и гидроксила, которые являются хорошими индикаторами звездообразования. Таким образом, нет сомнений, что область KL является областью звездообразования, где именно в настоящее время происходит интенсивный процесс формирования звезд.

Если газо-пылевой комплекс туманности Ориона представляет собой ОВ-ассоциацию, находящуюся в межрукавном пространстве, то источник W3 (ассоциация Кассиопея ОВ6) является представителем очага звездообразования, связанным со спиральным рукавом. Он представляет большой комплекс газа и пыли, расположенный в рукаве Персея. Источник W3, вместе с большими III-зонами IC 1848, IC 1805 и IC 1795 входит в ОВ-ассоциацию Cas ОВ6. Как в случае ассоциации Ориона, в W3 также наблюдаются мазеры  $\text{OH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и точечные инфракрасные источники.

Различие между этими очагами звездообразования, носит скорее всего, количественный, чем качественный характер.

Представляет интерес подробнее изучить вопрос о взаимоотношениях областей современного звездообразования, характерные линейные размеры которых измеряются долями одного парсека, с ОВ-ассоциациями, размеры которых измеряются десятками парсек. При этом следует учитывать, что ОВ-ассоциации неустойчивы и по динамическим причинам должны распаться (иногда линейная скорость расширения может достигать 10 км/с) за время порядка одного десятка миллионов лет [1].

Другим примером молодых звездных ассоциаций являются комплексы, содержащие карликовые переменные звезды типа Т Тельца. Эти ассоциации были названы Т-ассоциациями. Оказалось, что между ОВ-ассоциациями и Т-ассоциациями существует связь. А именно, некоторые ОВ-ассоциации содержат в своем составе Т-ассоциации. Отметим, что размеры Т-ассоциаций значительно меньше размеров ОВ-ассоциаций. Иногда одна ОВ-ассоциация может содержать несколько Т-ассоциаций, например, ассоциация Ogi ОВ1 содержит по меньшей мере восемь Т-ассоциаций.

Выше были приведены примеры, когда ОВ-ассоциации содержат также мазерные источники (см. также [2,3]).

Для выяснения связи ОСЗ со звездными ассоциациями на основе наблюдательных данных, в качестве характерных индикаторов ОСЗ целесообразно рассматривать источники в мазерной радиолинии  $\text{H}_2\text{O}$  на волне 1.35 см, т.к. по многим свойствам (мощность излучения, степень компактности, переменность излучения, вспышечная активность и т.д.) и степени изученности мазеры  $\text{H}_2\text{O}$  занимают особое место среди мазеров в других спектральных линиях межзвездных молекул.

2. *О мазерной радиолинии  $\text{H}_2\text{O}$  в областях звездообразования.* Мазерная радиолиния  $\text{H}_2\text{O}$  была впервые обнаружена в 1968 г. в III-области W49 [4]. В настоящее время известно более 280 мазерных источников,

встречающихся в областях звездообразования [5,6].

Мазеры водяного пара, наряду с областями современного звездообразования, также наблюдаются у следующих объектов: холодные звезды спектральных классов M3 — M8 с сильным избытком близкого инфракрасного излучения, ИК/ОН звезды, компактные области III. Обнаружены также мазеры H<sub>2</sub>O, ассоциирующиеся с другими объектами — объектами Хербига—Аро(НН), со звездами типа Т Тельца, Ae/Be звездами Хербига. Мазеры, ассоциирующиеся со звездами классов M3-M8, имеют отношение к поздним стадиям звездной эволюции, а мазеры, связанные с III-областями, с объектами НН и другими — к ранним. Мазеры H<sub>2</sub>O в областях звездообразования отличаются также и тем, что являются более мощными, быстропеременными, в ряде случаев проявляют вспышечную активность (W49, Ori- KL, GGD 25, Sgr B2), (см., например, [7]). Кроме этого, профили линий у них сложнее, чем у мазеров, которые ассоциируются с холодными звездами. У некоторых источников H<sub>2</sub>O компоненты различаются по лучевой скорости более чем на 300 км/с. В окрестностях мазеров часто наблюдаются неразрешенные инфракрасные источники.

Гензел и Даунс [8] предложили классификацию H<sub>2</sub>O мазеров в областях звездообразования, отнеся их к разным стадиям эволюции. На ранней стадии мазеры H<sub>2</sub>O, связанные с недавно возникшими протозвездами, излучают одиночные линии. К этому классу относятся источники H<sub>2</sub>O низкой светимости, обнаруженные в темных газо-пылевых облаках; они, как правило, не связаны с компактными III-областями. На более поздней стадии развития H<sub>2</sub>O -мазера профиль линии имеет сложную структуру. Эти H<sub>2</sub>O -мазеры пространственно разделяются на низкоскоростные и высокоскоростные компоненты. Низкоскоростные детали бывают примерно на два порядка мощнее, чем высокоскоростные. Разность лучевых скоростей составляет от нескольких десятков до сотен км/с. В окрестностях мазеров со сложным профилем всегда имеются компактные III-области.

К этому классу объектов относится большинство хорошо изученных H<sub>2</sub>O -мазеров (Ori — KL, W3, W49, W51 и др.). Интерферометрические измерения (см. например, [9]) показывают, что низкоскоростные и высокоскоростные компоненты бывают выброшены из единого центра активности и притом приблизительно одновременно. В случае Ori—KL в качестве такого центра предполагается объект IRC 2 [10]. Следует отметить, что деления мазеров, ассоциирующихся со звездами класса M, на низкоскоростные и высокоскоростные детали не наблюдается.

Сандел, Олофссон предлагают классифицировать H<sub>2</sub>O -мазеры без привлечения эволюционного статуса [11]. К классу I они относят мазеры, которые связаны с OB- звездами, с компактными III-областями и мазерами ОН. Эта категория охватывает все «классические» мазеры H<sub>2</sub>O. Мазеры

$H_2O$ , связанные со звездами малых и средних масс, принадлежащими к Орионову населению, образуют II класс. Эти мазеры не связаны с компактными НII-областями и находятся вблизи маленьких эмиссионных туманностей в темных облаках (часть объектов Хербига — Аро находится именно в этих областях).

Однако такая классификация  $H_2O$ -мазерных источников, на наш взгляд, приводит к искусственному разделению  $H_2O$ -источников, встречающихся в областях звездообразования. Действительно, как было отмечено выше, есть много общего между мазерными источниками  $H_2O$ , связанными с различными объектами, встречающимися в областях звездообразования (компактные НII-области, объекты Хербига — Аро и др.).

Поскольку наличие  $H_2O$ -мазеров во многих ассоциациях является существенным для понимания эволюционного статуса мазеров, целесообразно разделить мазерные источники  $H_2O$  прежде всего на следующие два класса. К первому классу следует отнести  $H_2O$ -мазеры, входящие в состав звездных ассоциаций, а ко второму — мазеры вне этих областей. В этом случае, конечно, будут такие объекты, в направлении которых, из-за большого поглощения света, невозможно установить с легкостью наличие звездных ассоциаций. Поэтому в подобных случаях желательно относить такие источники к тому или иному классу, исходя из свойств самих мазерных объектов.

Конечно, при такой классификации  $H_2O$ -мазеров нарушение однородности обеих групп объектов неизбежно. Однако, нам кажется, что такая классификация мазерных источников более естественно отражает связь с окружающими объектами и эволюцию.

3. *Обсуждение наблюдательных данных.* Сопоставление известных списков  $H_2O$  мазерных источников, встречающихся в очагах звездообразования [5,6], и каталогов ОВ-ассоциаций [12,13] показало, что многие ассоциации содержат мазеры  $H_2O$ . В табл. 1, содержащей список ОВ-ассоциаций, последовательно приведены: название ассоциации, число очагов мазерных источников  $H_2O$  и число известных кратных систем типа Трапеции в данной ассоциации. Данные о связи кратных систем типа Трапеции с ассоциациями, главные звезды которых относятся к спектральному классу О-В, были заимствованы из работ [14-16]. При выяснении вопросов принадлежности того или иного  $H_2O$ -объекта к звездной ассоциации, помимо совпадения координат, учитывалась также одинаковость расстояний. Для большинства  $H_2O$ -источников известны их кинематические расстояния. Значения этих расстояний были взяты из работ [5, 8, 17-23]. Они, конечно, являются относительно грубыми оценками.

Следует отметить, что привести более или менее полный список

мазерных источников, связанных с ассоциациями, пока невозможно. Причиной этого является: во-первых, нет ни одного полного обзора плоскости Галактики в линии  $H_2O$ ; во-вторых, для некоторых источников неизвестны их расстояния. Тем не менее, уже на основе имеющихся данных можно получить некоторые, на наш взгляд, интересные результаты.

Каталоги мазерных источников, в основном, составлены на основе обзоров, выполненных с помощью одиночных радиотелескопов, угловое разрешение которых обычно составляет несколько десятков угловых секунд.

В работе [6] приведен список 283 очагов мазерных источников  $H_2O$  с плотностью потока более 1 Ян. Для 241 из них мы вычислили изотропную светимость на волне 1.35 см. Практически во всех каталогах мазерных источников приводится значение плотности потока только самой интенсивной детали профиля линии. Поэтому трудно определить интегральную светимость источника. Однако на основе данных работы [8] нетрудно убедиться, что, в среднем, светимость максимальной детали бывает порядка одной трети интегральной светимости источника. В связи с этим, для характеристики светимости мазера мы ограничились данными о светимости (эрг/с) самой интенсивной детали профиля, за полуширину линии принимая 1 км/с, что характерно для большинства мазерных источников  $H_2O$ .

Из 241 объекта 137 находятся на расстоянии до 4 кпк. С другой стороны, звездные ассоциации, которые обнаружены оптическим методом, в основном, распределены до 4 кпк. Поэтому, при сопоставлении некоторых параметров выборок объектов, входящих и не входящих в состав ассоциаций, мы будем ограничиваться объектами, расстояние которых менее 4 кпк.

Подсчет показал, что из 137 мазеров  $H_2O$  72 (53%) входят в состав звездных ассоциаций. Это число является нижним пределом, так как, во-первых, не все ОВ-ассоциации, находящиеся ближе 4 кпк, обнаружены оптическим методом; во-вторых, в направлении многих звездных ассоциаций наблюдений  $H_2O$  не проводилось. В частности, некоторые объекты из списка НИИ-областей Вестерхаута [24] по многим признакам являются членами ОВ-ассоциаций, однако большое поглощение в оптических лучах в направлении этих объектов не позволяет обнаружить наличие ассоциаций. Если же учитывать подобные объекты, то оказывается, что из 137 очагов излучения  $H_2O$  94 (~ 70%) входят в ОВ-ассоциации.

В работе [25] проводились наблюдения в линии  $H_2O$  в направлении некоторых звездных ассоциаций. Процент обнаружения  $H_2O$  -источников в указанной работе не был высок (~15%). В частности, не были обнаружены мазерные источники в направлениях ассоциаций Ог1 ОВ2, Моп ОВ2, Сер ОВ4. Исходя из результатов этой работы, некоторыми авторами сделано неверное заключение, что мазерные источники  $H_2O$  редко встречаются в ассоциациях (см., например, [17]), несмотря на то, что уже ранее

было известно много источников  $H_2O$ , наблюдаемых в направлении известных ассоциаций, хотя их принадлежность к ассоциациям не рассматривалась.

Действительно, согласно каталогам мазерных источников наблюдения в линии  $H_2O$  проводились в направлении примерно 30 известных ассоциаций, из них у 22 (73%) обнаружены  $H_2O$ - источники (табл. 1.). Отметим также, что эти наблюдения охватывают лишь небольшую часть объема ассоциации. Итак, в каждой ассоциации, где есть мазерные источники водяного пара, их встречается в среднем около трех.

Таблица 1

ЗВЕЗДНЫЕ АССОЦИАЦИИ, СОДЕРЖАЩИЕ  $H_2O$ -ИСТОЧНИКИ

№	Название	$N_{H_2O}$	$N_{Тран.}$
1	Cas OB6	5	2
2	Per OB2	4	1
3	Ori OB1	7	4
4	Gem OB1	2	—
5	Mon OB1	1	—3
6	CMa OB1	1	—
7	Vel OB1	1	3
8	Car OB1	1	5
9	Nor OB1	1	—
10	Sco OB2	2	—
11	Nor OB4	9	1
12	Ara OB1 b	9	1
13	Sgr OB5	1	—
14	Sgr OB1	1	1
15	Sgr OB6	3	2
16	Ser OB1	13	1
17	Vul OB1	3	1
18	Cyg OB1	1	1
19	Cyg OB2	1	—
20	Cyg OB6	1	2
21	Cep OB3	2	—
22	Cas OB2	3	1

4. Функция светимости мазерных источников. На рис.1 приведены функции светимостей  $H_2O$  - мазеров. Верхняя гистограмма — функция светимости для 241 объекта ( $N_i$ ). Далее приведены функции светимостей

для объектов, у которых: а) в профиле линии имеют более одной детали ( $N_c$ ), б) профиль линии состоит из одной детали ( $N_s$ ). В правом верхнем углу приведено среднее значение логарифма светимости и его стандартное отклонение для каждой группы. Нетрудно заметить, что по светимости источники, у которых наблюдается сложный профиль, существенно превосходят объекты с простым спектром. Эти же зависимости для членов звездных ассоциаций и объектов вне этих областей, а также для всех объектов, расстояния которых меньше 4 кпк, приведены на рис.2,3 соответственно. Видно, что объекты, входящие в ОВ-ассоциации, в среднем в 2.5 раза мощнее, чем объекты вне этих областей.

Приведенные зависимости числа источников  $H_2O$  от светимости можно охарактеризовать следующим образом. Уменьшение числа источников при больших значениях светимости свидетельствует об отсутствии  $H_2O$ -мазеров с  $lg L > 34$ . Что касается уменьшения числа источников при низких значениях светимости ( $lg L \leq 28.0$ ), то, очевидно, это в основном, обусловлено наблюдательной селекцией. В этом можно убедиться из данных табл.2, где приведено распределение числа мазерных источников в зависимости от светимости и расстояний. Видно, что для больших значений светимости ( $lg L > 28.0$ ) источники, расстояние которых больше 1.0 кпк, вносят существенно больший вклад в функцию светимости, чем объекты с  $D \leq 1.0$  кпк. На низком конце функции светимости вклад объектов с  $D \leq 1.0$  кпк и  $D > 1.0$  кпк примерно одинаков, что, как уже отмечалось, является следстви-

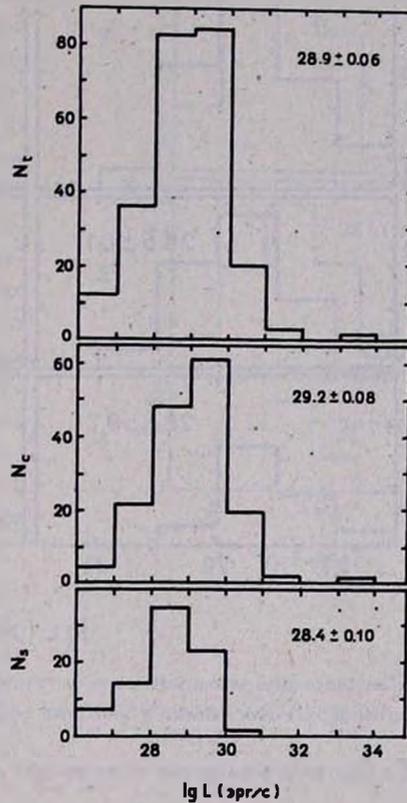


Рис.1. Распределение числа мазерных источников  $H_2O$  по светимости. В правом верхнем углу приведено среднее значение логарифма светимости и его стандартное отклонение.

ем наблюдательной селекции. Действительно, если предположить, что в

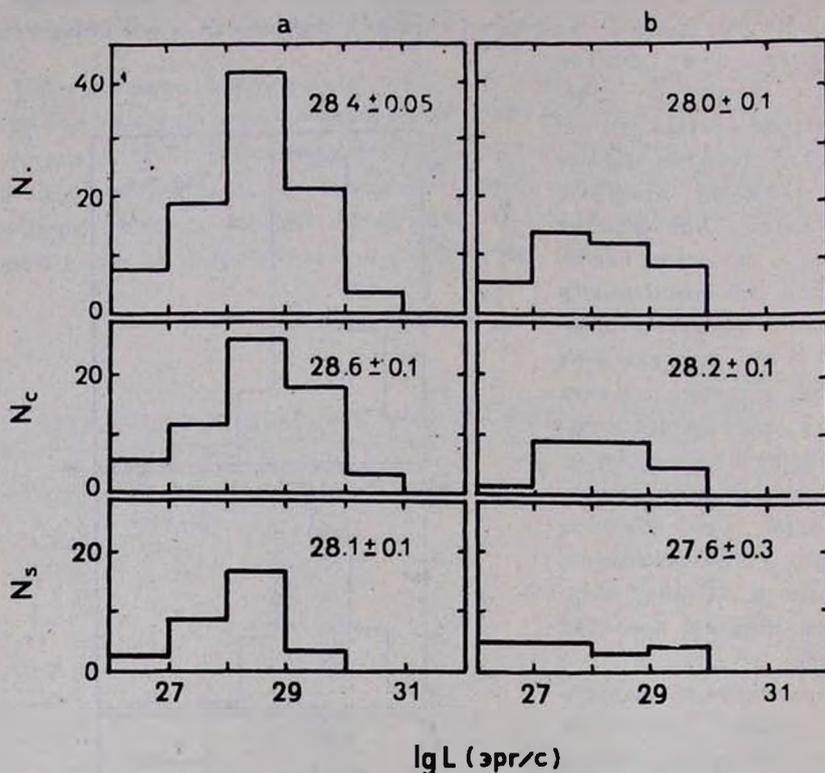


Рис.2. Распределение числа мазерных источников  $H_2O$  по светимости: а) для членов звездных ассоциаций, б) для объектов вне этих областей.

плоскости Галактики мазерные источники распределены равномерно, то

Таблица 2

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАЗЕРНЫХ ИСТОЧНИКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СВЕТИМОСТИ И РАССТОЯНИЙ

	$\lg L < 28.0$		$28.0 < \lg L < 29.0$	
	$< 1.0$ кпк	$> 1.0$ кпк	$< 1.0$ кпк	$> 1.0$ кпк
$N_1$	22	28	5	50
$N_c$	12	17	4	32
$N_s$	10	11	1	18

число объектов одинаковой светимости, плотность потока которых ниже

порога обнаружения радиотелескопа, в большом объеме должно превосходить таковую в меньшем объеме. Следовательно, если известно всего 22 источника с  $25.0 \leq \lg L \leq 28.0$  и  $D \leq 1.0$  кпк, то число объектов с той же светимостью для  $D \leq 4.0$  кпк должно быть примерно 350. Исходя из этих результатов и принимая радиус диска Галактики равным 15 кпк, можно оценить полное число мазерных источников  $\text{H}_2\text{O}$  в Галактике со светимостью  $25.0 \leq \lg L \leq 34.0$ . Расчеты показывают, что число таких объектов должно быть примерно 5000. Однако, учитывая, что на самом деле они распределены в плоскости Галактики неравномерно [6], ожидаемое число объектов будет от 2000 до 2500. В работе [26] число  $\text{H}_2\text{O}$ -мазеров оценено  $\sim 2000$ .

В связи с этим возникает вопрос, все ли мазеры в областях звездообразования образовались в ОВ-ассоциациях. Сделаем грубую прикидку. В настоящее время в окрестностях Солнца (на расстояниях до 1 кпк) известно 16 ОВ-ассоциаций.

Следовательно, при неравномерности их распределения общее число таких ассоциаций в Галактике должно быть примерно 1000. Тогда число мазерных источников в ассоциациях (считая по три мазера в каждой) составит  $\sim 3000$ , что вполне достаточно для объяснения происхождения всех этих источников в Галактике.

Отсутствие объектов с  $\lg L < 25.0$  связано с тем, что либо таких источников просто не существует, либо чувствительность современных радиотелескопов недостаточна для обнаружения подобных слабых объектов. Вторая причина нам кажется более вероятной. Действительно, чувствительность современных спектральных наблюдений на волне 1.35 см позволяет обнаружить только объекты с плотностью потока больше 1 Ян. Следовательно, объекты с  $\lg L < 25.0$  доступны для наблюдений лишь на неболь-

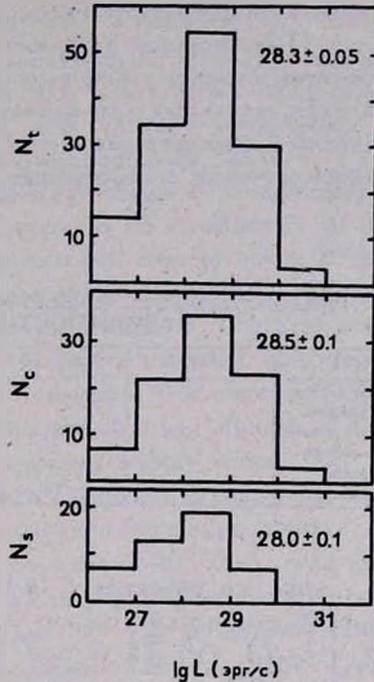


Рис.3. Распределение числа мазерных источников  $\text{H}_2\text{O}$  по светимости, расстояние которых меньше 4 кпк.

ших расстояниях в окрестностях Солнца ( $\sim 300$  пк.).

В табл. 3 приведено распределение мазерных источников с  $D \leq 1$  кпк в зависимости от светимости. Рассмотрение объектов с  $\lg L \geq 27.0$  показывает, что из 13 источников 8 являются членами известных ОВ-ассоциаций (из 8 объектов 4 входят также в состав Т-ассоциаций Ori T2, Моп T1 и Sco T1), из пяти остальных три находятся вблизи компактных НII-областей, а две связаны с компактными НII-областями высокой плотности, без заметного радиоизлучения в непрерывном спектре.

Таблица 3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАЗЕРНЫХ ИСТОЧНИКОВ С  $D \leq 1$  КПК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СВЕТИМОСТИ

$\lg L$	25.0-25.9	26.0-26.9	27.0-27.9	28.0-28.9	$> 29.0$
Члены ОВ-ассоциаций	—	8	4	3	1
Объекты вне ОВ-ассоциаций	1	6	4	1	—
Все	1	14	8	4	1

В случае же объектов с  $\lg L < 27.0$  из 15 источников 8 являются членами ОВ-ассоциаций (из них 5 одновременно входят в Т-ассоциации Ori T2, Ori T3, Ori T8 и Sco T1), из 7 остальных три связаны с компактными НII-областями, а другая часть — со слабыми звездами, входящими в Орионово население (два объекта из них являются членами Т-ассоциаций Tau T2 и Моп T3). В связи с этим следует отметить, что, согласно результатам работ [11, 26, 27], мазеры, связанные со звездами относительно низкой светимости, принадлежащими Орионову населению, являются слабыми источниками, и в то же время у подавляющей части этих звезд мазерное излучение не обнаружено ( $\lg L < 25.0$ ). С другой стороны, основная часть этих звезд — члены Т-ассоциаций.

Следовательно, исходя из вышеизложенного можно заключить, что абсолютно более слабые мазерные источники в областях звездообразования, по всей вероятности, встречаются в Т-ассоциациях.

5. *Дискуссия.* а) Согласно каталогам мазерных источников  $H_2O$  [5,6] на высоких галактических широтах ( $|b| > 15^\circ$ ) известно всего 13 источников, хотя наблюдения были проведены в направлении более 40 объектов. Все тринадцать зарегистрированных на этих широтах источников являются членами звездных ассоциаций Ori OB1, Per OB2 и Sco OB2. Кроме этих ассоциаций, согласно [12], известна еще одна ассоциация с  $|b| > 15^\circ$  (Lac OB1). Однако, насколько нам известно, в направлении этой ассоциации наблюдения в линии  $H_2O$  практически не проводились. Интерес-

но будет провести подобные наблюдения, тем более, что Lac OB1 является одной из близких к Солнцу ассоциаций. Приведенные данные делают весьма вероятным вывод о том, что мазерные источники  $H_2O$  (имеющие отношение к ранним стадиям звездной эволюции) с  $|b| > 15^\circ$  встречаются исключительно в звездных ассоциациях или в открытых скоплениях. В связи с этим небезынтересно отметить, что попытки обнаружить  $H_2O$ -излучение от шаровых скоплений были безуспешными [28].

б) Как известно, в составе OB-ассоциаций часто встречаются кратные системы типа Трапеции [14]. Так, например, из 88 ассоциаций 36 (40%) содержат Трапеции. Согласно нашим данным (см. табл. 1) почти 70% ассоциаций, содержащих в своем составе мазерные источники  $H_2O$ , одновременно имеют и кратные системы типа Трапеции и лишь у 30% этих ассоциаций системы типа Трапеции отсутствуют. С другой стороны, среди ассоциаций, не содержащих  $H_2O$ -мазеры лишь примерно 30% содержат системы типа Трапеции. Таким образом, наличие мазерных источников и наличие трапеций в ассоциациях сильно коррелированы между собой.

Согласно [29], кратные системы типа Трапеции являются динамически неустойчивыми системами и должны довольно быстро распасться. Расчеты показывают, что время их распада порядка  $2 \cdot 10^6$  лет, когда система имеет отрицательную полную энергию. Если же полная энергия системы положительная, то время распада порядка  $10^5$  лет и меньше. Поэтому, независимо от знака полной энергии, кратные системы типа Трапеции являются одними из наиболее молодых объектов в звездных ассоциациях.

Существование большого числа кратных систем типа Трапеции в звездных ассоциациях указывает на то, что молодые O-B звезды в них рождаются группами, а не в одиночку.

Согласно имеющимся в литературе оценкам (см., например, [17]), длительность фазы мазерного излучения молекулы  $H_2O$  в областях звездообразования, в среднем, составляет  $10^5$  лет. Следовательно,  $H_2O$ -источники и звездные трапеции часто должны возникать практически одновременно или с небольшой разницей во времени.

в) Примечательной особенностью очагов мазерных источников водяного пара, входящих в состав звездных ассоциаций, является то, что в них часто наблюдаются нестационарные явления в виде вспышки излучения, выбросов и расширения. Действительно, наиболее интересные с этой точки зрения источники  $H_2O$  среди объектов, расстояние до которых меньше 4 кпк, находятся в ассоциациях. Так, например, источники Ori-KL, W3, Ser A, NGC 2071, NGC 2024, NGC 1333 и некоторые другие являются членами звездных ассоциаций.

Остановимся несколько подробнее на наблюдаемых проявлениях нестационарных явлений у мазерных источников.

Естественно, что в первую очередь следует рассматривать особенности объекта Ogi-KL, т.к. этот источник исследован более подробно и в нем наблюдаются практически все виды проявления нестационарности.

Как указывалось в разделе 2, в Ogi-KL существуют, по крайней мере, два вида  $H_2O$ -источников: низкоскоростные и высокоскоростные [10,30]. В указанных работах отмечается, что эти компоненты, вероятнее всего, выброшены из инфракрасного объекта IRC 2. Низкоскоростные компоненты удаляются от IRC 2 со скоростью 18 км/с, а скорость удаления высокоскоростных компонентов менее определена (30-100 км/с).

Другим проявлением нестационарности источника Ogi-KL в линии  $H_2O$  является его вспышечная активность. Впервые вспышка излучения в этом очаге мазеров была обнаружена в 1979г. на лучевой скорости 8 км/с [31], при которой мощность излучения возросла почти в 1000 раз ( $2 \cdot 10^6 Ян$ ). Дальнейшие наблюдения показали, что после некоторого спада мощность излучения снова возросла до  $7 \cdot 10^6 Ян$  в 1984г. [7,32].

В работе [33] приведен список 9  $H_2O$ -мазерных источников, показывающих переменность излучения в течение промежутков порядка нескольких дней. Список включает все подобные объекты, которые были известны в литературе до середины 1985г. Интересно, что из 9 объектов 7 являются членами известных ассоциаций. Остальные два, W75 и W49, по всем признакам также входят в комплексы, которые, по-видимому, можно считать ассоциациями. Согласно [34], в W3 OH наблюдалась вспышка и подъем излучения длился всего 5.5 дней.

Источник Сер А [33] показывает коррелированные вспышки излучения некоторых компонентов линии, подобно W49 [7,35].

Согласно [5], подавляющая часть мазерных источников в области звездообразования связана с точечными инфракрасными объектами.

Таким образом, резюмируя, можно сказать, что мазерные источники  $H_2O$ , входящие в звездные ассоциации (I класс), являются быстропеременными, часто образуют скопления низкоскоростных и высокоскоростных компонентов, выброшенных из некоторых центров, показывают вспышечную активность, ассоциируются с инфракрасными объектами, компактными III источниками, мазерами OH на частотах 1665 или 1667 МГц, массивными OB-звездами или звездами типа Т Тельца и т.д.

Такие мазеры, которые входят в W 49, W 51 и другие подобные образования, следует также отнести к I классу, так как по свойствам мазерного излучения  $H_2O$  они являются типичными представителями первого класса, хотя в направлении этих комплексов невозможно наблюдать входящие в них отдельные звезды, что мешает окончательному включению этих комплексов в список звездных ассоциаций.

В то же время, не следует исключать того обстоятельства, что в

некоторых, сравнительно не молодых ассоциациях, где процесс формирования звезд практически завершен, мазерные источники могут просто отсутствовать. Возможно, что к таким ассоциациям можно отнести Peg OB 1, где не наблюдаются ни мазеры  $H_2O$ , ни области III.

Ко второму классу следует отнести в первую очередь мазеры  $H_2O$ , ассоциирующиеся со звездами поздних спектральных классов с сильным избытком ближнего ИК-излучения, ИК/ОН — мазеры и некоторые другие, которые не входят в ассоциации.

Звезды-сверхгиганты класса М по свойствам излучения  $H_2O$  близки к мазерным источникам, встречающимся в областях звездообразования (см., например, [36]). Более того, холодные сверхгиганты могут входить в OB-ассоциации и, вероятно, являются весьма молодыми звездами [37]. В частности, переменная звезда — сверхгигант класс M3-M5, VYCMa, является главной звездой тесной системы типа Трапеции ADS 6033 и мощным источником мазерного излучения водяного пара.

Следует подчеркнуть, что в среднем интенсивность мазеров I класса в 1000 раз превосходит интенсивность мазеров II класса.

В заключение отметим, что дальнейшее изучение связи между  $H_2O$ -мазерами и OB-ассоциациями может пролить новый свет на космогонические процессы, происходящие в последних. Теперь мы знаем, что в звездных ассоциациях систематически наблюдаются области, возраст и линейные размеры которых в десятки раз меньше, чем таковые у ассоциаций. К их числу относятся скопления и трапеции молодых звезд, интенсивные мазерные и инфракрасные источники, объекты Жербига-Аро и другие пекулярные источники — иначе говоря, «области современного звездообразования». Таким образом, приведенные факты свидетельствуют о том, что во-первых, не все звезды в ассоциации возникают одновременно, и, во-вторых, образование отдельных групп может происходить в сравнительно небольших объемах по сравнению с объемом ассоциации [38].

6. *Выводы.* Перечислим основные результаты данной работы:

а) Области современного звездообразования, характерными признаками которых являются  $H_2O$ -мазеры, в основном наблюдаются в звездных ассоциациях.

б) Наличие мазерных источников и наличие кратных систем типа Трапеции в ассоциациях сильно коррелированы между собой.

в) У мазерных источников  $H_2O$ , входящих в звездные ассоциации, наблюдаются практически все виды проявления нестационарности. Они, в среднем, являются более мощными, чем объекты вне этих ассоциаций.

## ON THE RELATION OF REGIONS OF RECENT STAR FORMATION AND STELLAR ASSOCIATIONS

V.A.AMBARTSUMIAN, R.A.KANDALIAN

The relation of regions of recent star formation and stellar associations are considered. It has been established that H<sub>2</sub>O maser sources in the regions of recent star formation, which are highly characteristic for them, mainly occur in the stellar associations. Based on the properties of H<sub>2</sub>O maser sources, we propose two classes of these objects. Class I: H<sub>2</sub>O masers which occur in the region of stellar associations. Class II: H<sub>2</sub>O masers — outside of stellar associations. Luminosity function of H<sub>2</sub>O maser sources has been derived. The properties of H<sub>2</sub>O maser sources in the region of star formation and their relation with the surrounding objects are discussed.

### ЛИТЕРАТУРА

1. В.А.Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1947.
2. В.А.Амбарцумян, Изв. АН СССР, Сер. физ. 14, №1, 15, 1950.
3. V.A.Ambartsumian, L.V.Mirzoyan, Astrophys. and Space Sci., 84, 331, 1982.
4. A.C.Cheung, D.M.Rank, C.H.Townes, O.D.Thornton, W.Z.Welch, Nature, 221, 626, 1969.
5. M.A.Braz, N.Epchein, Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., 54, 167, 1983.
6. Э.А.Айрапетян, Препр. ИКИ, №1179, 1986.
7. Л.Э.Абрамян, А.П.Веттер, И.В.Госачинский, Р.А.Кандалян, Р.М.Мартirosян, Ф.С.Наваретян, В.А.Санамян, Н.А.Юдаева, Изв. спец. астрофиз. обсерв. АН СССР, 24, 85, 1987.
8. R.Genzel, D.Downes, Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., 30, 145, 1977.
9. R.Genzel, M.Z.Reid, J.M.Moran, D.Downes, Astrophys.J., 244, 884, 1981.
10. D.Downes, R.Genzel, E.E.Becklin, C.G.Wynn-Williams, Astrophys.J., 244, 869, 1981.
11. G.Sandell, H.Olofsson, Astron. and Astrophys., 99, 80, 1981.
12. C.Aller, J.Ruprecht, V.Vanusek, Catalogue of Star Clusters and Associations, Academiai Kiado, Budapest, 1970.
13. R.M.Humphreys, Astrophys.J. Suppl.Ser., 38, 309, 1978.
14. Г.Н.Салуквадзе, Астрофизика, 15, 311, 1979.
15. Б.Е.Маркарян, Сообщ. Бюракан. обсерв., 5, 3, 1950.
16. Б.Е.Маркарян, Сообщ. Бюракан. обсерв., 9, 3, 1951.
17. D.T.Jaffe, R.Güsten, D.Downes, Astrophys.J., 250, 621, 1981.
18. L.Blitz, C.J.Lada, Astrophys.J., 227, 152, 1979.
19. L.F.Smith, P.Biermann, P.G.Mezger, Astron. and Astrophys., 66, 65, 1978.
20. L.F.Rodriguez, J.M.Moran, P.T.P Ho, E.W.Gottlieb, Astrophys.J., 235, 845, 1980.
21. L.Blitz, M.Fich, A.A.Stark, Astrophys.J. Suppl. Ser., 49, 183, 1982.
22. J.L.Caswell, R.F.Haynes, W.M.Goss, Aust.J.Phys., 33, 639, 1980.
23. I.F.Mirabel, A.Ruiz, L.F.Rodriguez, J.Canto, Astrophys.J., 318, 729, 1987.
24. G. Westerhout, Bull. Astron. Netherl, 14, 215, 1958.
25. L.Blitz, C.J.Lada, Astrophys.J., 227, 152, 1979.
26. R.Genzel, D.Downes, Astron. and Astrophys., 72, 234, 1979.

27. *C.Thum, C.Bertout, D.Downes*, *Astron. and. Astrophys.*, **94**, 80, 1981.
28. *N.L.Cohen, M.A.Malkan*, *Astron.J.*, **84**, 74, 1979.
29. *В.А.Амбарцумян*, *Сообщ. Бюракан.observ.*, **15**, 3, 1954.
30. *R.Genzel, M.J.Reid, J.M.Moran, D.Downes*, *Astrophys.J.*, **244**, 884, 1981.
31. *Z.Abraham, R.Opher, I.C.Raffaelli*, *IAU Circ.*, No. 3415, 1979.
32. *Z.Abraham, N.L.Cohen, R.Opher, I.C.Raffaelli, S.N.Zisk*, *Astron. and. Astrophys.*, **100**, L10, 1981.
33. *P.R.Rowland, R.J.Cohen*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **220**, 233, 1986.
34. *B.F.Burke, T.S.Giuffrida, A.D.Haschick*, *Astrophys.J.*, **226**, L21, 1978.
35. *Р.Н.Гаттон*, *Astron. and. Astrophys.*, **50**, 71, 1976.
36. *Г.М.Рудницкий*, *Итоги науки и техн. ВИНТИ*, **20**, 87, 1983.
37. *В.А.Амбарцумян*, *Вестн. АН СССР*, **11**, 45, 1953.
38. *В.А.Амбарцумян*, *Докл. АН АССР*, **16**, 73, 1957.