

СВЕРХАССОЦИАЦИИ В ОТДАЛЕННЫХ ГАЛАКТИКАХ

§ 1. Как хорошо известно, Большое Магелланово Облако содержит значительное количество О-ассоциаций. В своем подавляющем большинстве они как по своим размерам, так и по интегральной светимости сходны с ассоциациями нашей Галактики. Согласно исследованиям Бока и его сотрудников [1], абсолютные величины более ярких ассоциаций в БМО концентрируются около -10^m_0 и -11^m_0 .

Однако большой комплекс 30 Doradus как по размерам, так и по светимости намного превосходит другие ассоциации. Для этого комплекса $M = -15^m_0$ и диаметр порядка 600 пс. С этим комплексом не может сравниться ни одна из известных О-ассоциаций в нашей Галактике или в ММО. Вполне возможно, что этот комплекс отличается от других ассоциаций также некоторыми качественными характеристиками. Если это так, то целесообразно рассматривать 30 Doradus как представителя некоторого специального класса объектов, родственного О-ассоциациям.

То, что в данном случае действительно имеются качественные отличия видно хотя бы из того, что 30 Doradus содержит заметное число звезд Вольфа-Райе, абсолютная величина которых порядка -7^m_0 . В противоположность этому ряд весьма богатых ассоциаций не содержит вовсе звезд Вольфа-Райе. Примером может служить богатая ассоциация Ориона в нашей Галактике.

Кроме того, звездное скопление, находящееся в центре комплекса 30 Doradus, содержит по крайней мере сотни сверхгигантов. По богатству сверхгигантами и по своим линейным размерам (около 45 пс) это скопление резко отличается от открытых скоплений в нашей Галактике и в Магеллановых Облаках.

Так или иначе комплекс 30 Doradus заслуживает специального изучения. Мы назвали этот комплекс сверхассоциацией. Настоящая заметка посвящена вопросу о наличии сверхассоциаций в отдаленных галактиках.

Для исследования частоты встречаемости сверхассоциаций в галактиках были использованы снимки галактик, полученные на 21"-м рефлекторе Шмидта. На пластинках, полученных с помощью этого телескопа, изображения сверхассоциаций подобны изображениям звезд, если галактика находится на расстоянии, превышающем 10 миллионов пс. Это подобие наблюдается особенно точно при малых экспозициях, когда периферийные части сверхассоциаций на снимках не получают и эффективные диаметры их становятся меньше. Вместе с тем при малых экспозициях общий фон данной галактики не мешает фотометрической оценке яркости конденсации. Иными словами, в таких случаях мы имеем возможность сравнивать изображения сверхассоциаций с фо-

Superassociations in Distant Galaxies. Доклад на Международном симпозиуме в Канберре, 18—28 марта 1963 г. Опубликовано в трудах симпозиума „The Galaxy and the Magellanic Clouds“, IAU—URSI Symposium 20, ed. F. J. Kerr and A. W. Rodgers, Australian Ac. Sci., Canberra, 1964, 122, Сообщ. Бюракан. обсер., 33, 3, 1963. (Сотворы: С. Г. Искударян, Р. К. Шахбазян и К. А. Саакян).

кальными изображениями звезд в окружающей галактику области неба или в стандартной площадке. Если мы имеем дело с более близкими галактиками, сравнение со звездами может приводить к ошибкам, превосходящим $0^m 5$, так как изображения будут отличаться от звездных.

Мы приводим здесь предварительные данные, основанные на изучении 68 галактик, принадлежащих главным образом типу Sc. Наблюденные галактики (за исключением двух) были выбраны из каталога Шапли—Эймс случайным образом, если не считать того, что преимущество отдавалось Sc галактикам, а эллиптические галактики вовсе не рассматривались. Галактики, лучевые скорости которых неизвестны, исключались из программы наблюдений.

Для составления списка сверхассоциаций необходимо было установить нижнюю границу их абсолютной величины в фотографических лучах. Само собой разумеется, что такая граница, отделяющая сверхассоциации от обычных O-ассоциаций, поневоле должна быть условной. Мы приняли в качестве нижней границы $M = -13^m 5$. Это означает, что самые слабые сверхассоциации по меньшей мере в десять раз ярче, чем многие богатые O-ассоциации*.

Однако при составлении рабочего списка следует иметь в виду, что ошибки в оценке яркости конденсаций должны оказать односторонний статистический эффект, приводя к кажущемуся увеличению числа сверхассоциаций. В самом деле, эти ошибки должны приводить к тому, что часть объектов с истинными абсолютными величинами от $-13^m 5$ до $-14^m 5$ будет приниматься за обычные ассоциации и в то же время некоторые объекты с истинными абсолютными величинами от $-12^m 5$ до $13^m 5$ будут приниматься за сверхассоциации. Но поскольку число конденсаций в этом последнем интервале несомненно гораздо больше, чем число конденсаций в интервале от $-13^m 5$ до $-14^m 5$, то число ассоциаций, принятых за сверхассоциации, будет гораздо больше, чем число сверхассоциаций, ошибочно принятых за ассоциации. Это может создать представление о большем обилии сверхассоциаций, чем это имеет место в действительности. Для того, чтобы компенсировать это явление, мы решили, что на данном этапе целесообразно оставлять в списке сверхассоциаций только те объекты, для которых получающаяся расчетная абсолютная величина $M_g \leq -14^m 0$.

В результате оказалось, что из 68 галактик только 12 содержат сверхассоциации. Данные об этих 12 галактиках приводятся в табл. 1.

В третьем столбце этой таблицы приведено количество сверхассоциаций, встречающихся в каждой из галактик, а в четвертом, пятом и шестом столбцах приводятся последовательно значения средней абсолютной величины сверхассоциаций M_{Sa} , абсолютные величины галактики и ее ядра. Обращает на себя внимание то, что часто галактика содержит не одну, а несколько сверхассоциаций. Что касается средней светимости сверхассоциаций, то они несколько ниже определенных нами светимостей ядер. Вместе с тем сверхассоциации отличаются от ядер namного более голубым цветом.

Из таблицы также очевидно, что сверхассоциации особенно часто встречаются в сверхгигантских галактиках, абсолютная величина ко-

* Здесь и в дальнейшем при определении абсолютных величин различных конденсаций в отдаженных галактиках мы принимаем шкалу расстояний Сандейджа, считая, что постоянная закона красного смещения равна $H = 75 \frac{\text{км}}{\text{сек. Мпс}}$.

Таблица 1
Галактики со сверхассоциациями

NGC	Тип	N_{Sa}	\bar{M}_{Sa}	M_{rg}	M_g
1961	Sb	3	-16.1	-21.5	-17.1
2276	Sc	3	15.0	20.7	15.9
3991	Ного	2	17.0	--	нет
3995	Sc	4	14.8	20.3	17.0
4363	Sc	4	14.4	21.6	17.1
4496	Sbc	1	14.9	19.8	нет
5676	Sc	2	15.5	20.8	16.0
5678	Sc	2	15.5	20.5	16.0
6217	Sc	4	14.7	19.8	16.6
6412	Sc	1	15.5	19.4	15.7
6643	Sc	3	14.8	20.0	15.3
7448	Sc	2	16.2	20.8	16.6

торых порядка $-20^m 5$ и выше. Из наблюдаемых 48 галактик типов Sc и Sbc десять галактик, содержащих сверхассоциации, имеют среднюю абсолютную величину $-20^m 4$. Вместе с тем средняя абсолютная величина 37 галактик тех же типов, лишенных сверхассоциаций, равна $-19^m 0$. Единственная галактика Sb, приведенная в табл. 1, также является системой весьма высокой светимости.

В табл. 2 даны числа N всех наблюдаемых галактик типа Sc для различных интервалов абсолютных величин. Далее приведены значения N' чисел галактик, содержащих сверхассоциации, для тех же интервалов. Наконец, в последнем столбце таблицы приведены значения γ среднего числа сверхассоциаций, приходящихся на одну галактику данного интервала светимости.

Таблица 2

Интервал M	N	N'	γ
$M > -20.0$	28	3	0.2
$-20.3 < M < -20.0$	11	1	0.4
$M < -20.5$	8	6	2.0

Эта таблица особенно убедительно свидетельствует, что сверхассоциации встречаются почти исключительно в сверхгигантских галактиках.

По-видимому, в случае иррегулярных галактик положение несколько иное. У нас еще нет достаточно данных, однако галактика

NGC 275 типа Aro, содержащая по меньшей мере пять сверхассоциаций, имеет абсолютную величину $-19^m 0$. Точно так же пример БМО свидетельствует о том, что в иррегулярных галактиках сверхассоциации могут встречаться даже в случаях, когда светимости этих галактик относительно невысоки.

§ 2. Мы решили дополнить полученные на основании наших снимков данные о сверхассоциациях путем поисков сверхассоциаций на изображениях некоторого количества галактик на картах Паломарского атласа.

При этом были сделаны два обзора: а) обзор 250 объектов из числа тех галактик каталога Шапли—Эймс, для которых известны лучевые скорости и б) яркие члены скопления галактик в Большой Медведице.

При этом некоторая часть галактик была исключена из рассмотрения по причине сильной передержки их изображений на картах.

Для многих других галактик передержка частично мешала выявлению сверхассоциаций, тем не менее они были включены в наш обзор.

В первом обзоре из 250 галактик типов Sb, Sc и Igg около 100 галактик было исключено из-за передержки их изображений на картах Паломарского Атласа. Из оставшихся 150 галактик только 21 содержит сверхассоциации. Общее количество сверхассоциаций 23. Некоторые из галактик наверняка имеют по несколько сверхассоциаций. В табл. 3 приводится распределение по морфологическим типам всех рассмотренных галактик и галактик, содержащих сверхассоциации.

Таблица 3

Тип	Общее число галактик	Число галактик, содержащих сверхассоциации
Sb—SBb	26	3
Sc—SBc	111	14
Igg	12	4

Грубо были оценены яркости найденных сверхассоциаций. Абсолютная величина самой яркой из них равна $-15^m.5$. Грубые оценки цветов найденных нами сверхассоциаций дают для показателя цвета значения от $0^{m.0}$ до $+0.^m.6$.

Для второго обзора (скопление в Большой Медведице) были рассмотрены пять пар карт Паломарского Атласа: $PP+60^\circ 11^h44^m$; $+60^\circ 11^h00^m$; $+54^\circ 12^h02^m$; $+54^\circ 11^h24^m$ и $+48^\circ 11^h54^m$. Оказалось, что из 137 галактик, которые имеют видимые большие диаметры больше чем $1'.1$, у 13 галактик имеются сверхассоциации. Общее количество сверхассоциаций в них оказалось равным 14. В табл. 4 приводится распределение по морфологическим типам всех рассмотренных галактик, а также галактик, содержащих сверхассоциации.

Таблица 4

Тип	Общее число галактик	Число галактик, содержащих сверхассоциации
S0	13	—
Sa—SBa	24	—
Sb—SBb	30	—
Sc—SBc	46	7
Igg	24	6

Приняв модуль расстояния скопления равным $31^m.5$, мы определили, что абсолютные величины найденных нами сверхассоциаций доходят до $-15^m.0$.

Грубые оценки цветов показывают, что для найденных сверхассоциаций они заключены в пределах от $+0.^m.2$ до $-0.^m.5$, иными словами, в этом отношении сверхассоциации резко отличаются от ядер галактик.

§ 3. Как известно уже из работы Шапли и Параскевопулоса [2] большая часть светимости 30 Doradus обусловлена гигантской газовой туманностью (туманность Тарантула). Однако 30 Doradus содержит сотни голубых сверхгигантов, причем наиболее богатое скопление этих сверхгигантов расположено в центре всего комплекса.

С другой стороны, представляется возможным оценить нижнюю границу продолжительности жизни подобных комплексов. Дело в том,

что ширина эмиссионных линий в спектре туманности позволяет считать, что скорости движения различных элементов туманности по отношению к ее центру, как правило, не превосходят 25 км/сек. Примем грубо для средней величины v скорости газов туманности 10 км/сек. Поскольку диаметр D комплекса составляет 600 пс, то для качественного изменения его состояния требуется время

$$t = \frac{D}{v} = 6 \cdot 10^7 \text{ лет.}$$

Продолжительность жизни комплекса должна значительно превосходить эту цифру. Но даже беря за основу эту цифру, мы убеждаемся, что только за современный период развития комплекса должно было появиться порядка десяти поколений сверхгигантов, поскольку время жизни одного поколения ярких сверхгигантов меньше 10^7 лет. Таким образом, за время существования сверхассоциации 30 Doradus в ней должны были возникнуть тысячи звезд высокой светимости.

Пример ассоциации Ориона показывает, что в ассоциациях, содержащих в себе туманности, образуются также звезды низкой светимости, причем число возникающих звезд низкой светимости (звезды типа Т Тельца, вспыхивающие звезды) может быть почти на два порядка выше. Поэтому возможно, что за время существования сверхассоциации, подобной 30 Doradus, в ней возникают сотни тысяч и более звезд. Еще в 1939 году была сделана попытка определения массы туманности 30 Doradus [3]. Полученное тогда значение $2 \cdot 10^6 M_{\odot}$ нуждалось в пересмотре, главным образом вследствие введения новой шкалы расстояний. Такая переоценка была выполнена Джонсоном [4], принявшим во внимание еще ряд других факторов. Согласно Джонсону, масса 30 Doradus достигает $5 \cdot 10^6 M_{\odot}$. Поэтому неудивительно, что с этой туманностью могут быть генетически связаны сотни тысяч звезд.

Мы оставляем в стороне вопрос, остаются ли возникшие звезды в дальнейшем в составе скоплений или рассеиваются. Точно так же мы не обсуждаем дальнейшую судьбу туманности. Решение этих вопросов в значительной степени зависит от того, какая из двух точек зрения на сущность генетической связи между звездами и туманностями верна: точка зрения возникновения звезд из туманности или гипотеза о совместном образовании звезд и туманностей из других дозвездных тел.

§ 4. Для суждения о физической природе комплекса 30 Doradus имеют большое значение результаты радионаблюдений. Согласно Метьюсону [5], 30 Doradus является источником сильного радиоизлучения, которое состоит из двух составляющих: тепловой и нетепловой. Нетепловое радиоизлучение исходит из более широкой области, в то время как тепловое излучение сконцентрировано в центральной части. Положение аналогично тому, что мы имеем в районе центра нашей Галактики. Однако это не означает, что сверхассоциации по своей физической природе тождественны с ядрами галактик. Вместе с тем этот факт говорит о принципиальном различии между ассоциациями и сверхассоциациями.

Отметим, что согласно McGee [6] нейтральный водород в БМО часто встречается в виде облаков, масса каждого из которых заключена в пределах от 10^5 до 10^7 масс Солнца. Диаметры этих облаков достигают во многих случаях 500 пс и более. По своему местоположению эти облака иногда совпадают с облаками III и молодыми звездными ассоциациями. Таким образом, вполне возможно, что неко-

торые из этих образований по размерам и массе сходны с 30 Doradus, хотя они не содержат столь большого количества горячих гигантов.

С другой стороны, существенно, что подобные облака характерны именно для БМО. Наблюдения показывают, что в ММО мы не имеем столь больших облаков и распределение нейтрального водорода является более плавным.

Стоит более подробно остановиться на этом различии. При этом мы должны принять во внимание, что резко выраженная фрагментарная структура нейтрального водорода в БМО наблюдается одновременно с весьма интенсивным процессом звездообразования. Вместе с тем более однородная структура межзвездного газа в ММО наблюдается при не меньшей, а несколько большей плотности газа, причем процесс звездообразования, хотя и менее интенсивный, чем в БМО, протекает уже довольно долго, свидетельством чего является большее число открытых скоплений умеренно молодых и среднего возраста.

Посмотрим, как эта совокупность фактов может быть истолкована с точки зрения различных взглядов на эволюции галактик.

Как известно, согласно наиболее распространенному взгляду молодые звезды возникают из диффузного вещества, которое сначала было более однородным, а затем вследствие неустойчивости разделилось на облака, из которых в дальнейшем образовались звездные ассоциации и скопления. С этой точки зрения газовая компонента в БМО прошла уже большую часть процесса фрагментации, а в настоящее время в этих фрагментах имеет место мощный процесс звездообразования. Но тогда возникает трудность с интерпретацией наблюдаемой ситуации в ММО. В самом деле, как примирить отсутствие фрагментации с имевшим место в прошлом довольно интенсивным процессом звездообразования. Если же считать, что фрагментация не является необходимым условием для протекания процесса звездообразования, то почему в ММО, где плотность межзвездного газа выше, звездообразование идет менее интенсивно, чем в БМО.

Могут возразить, что дальнейшая разработка вопроса может привести к устранению этих трудностей. Однако рассмотрим, как рассматриваемые факты могут быть истолкованы с противоположной точки зрения, развитой в работах одного из авторов настоящей статьи. Согласно этой последней, звезды и туманности возникают в ассоциациях (а теперь мы можем прибавить и в сверхассоциациях) совместно, из дозвездных тел пока неизвестной природы. Согласно этой точки зрения, каждая из газовых туманностей (нейтральных или ионизованных) в БМО возникла вместе с соответствующей группой звезд из одного дозвездного тела. Точно так же из одного дозвездного тела возникла сверхассоциация 30 Doradus, включая и ее гигантскую туманность. Фаза развития, переживаемая БМО, характеризуется таким образом превращением (или лучше сказать распадом) относительно большого числа дозвездных тел. Получившиеся газовые массы еще не успели рассеяться в системе, из-за чего мы наблюдаем фрагментарное строение нейтрального водорода.

Иное положение в ММО, где процессы распада дозвездных тел произошли в несколько более отдаленном прошлом. Очевидно, что газовые массы здесь уже успели перемешаться. Таким образом, по крайней мере качественно, второе истолкование не вызывает никаких недоумений.

Итак, следует отдать предпочтение тому взгляду, что сверхассоциация 30 Doradus, как и другие большие газовые и звездные комплек-

сы, образовались каждое из одного дозвездного тела относительно высокой плотности. При этом нет нужды предполагать, что с самого начала это дозвездное тело непосредственно разделилось на звезды и газ. Факты, относящиеся к богатым ассоциациям в нашей Галактике, заставляют думать, что звезды возникают в них неодновременно, т. е. что мы имеем разные поколения, следовательно, следует допустить, что происходило последовательное деление первоначальной протозвезды сперва на промежуточные массы, а уже последние в разное время разделялись непосредственно на звезды и выделяли газ.

Представление о том, что в ассоциации Ориона мы имеем звезды, возникшие в различные эпохи, нашло свое подтверждение в работах Г. Аро [7], который привел прямые свидетельства в пользу различного возраста вспыхивающих звезд и звезд типа Т Тельца. Как мы видели выше, развитие комплекса 30 Doradus было связано с появлением целого ряда поколений О—В звезд. Это вновь говорит в пользу гипотезы последовательной фрагментации первоначальной протозвезды.

Авторы выражают благодарность д-ру Вестерлунду (Упсала) за предоставление копии снимка 30 Doradus в ультрафиолете, полученного на Обсерватории Маунт-Стромло (Австралия). На этом снимке особенно четко можно видеть распределение сверхгигантов в сверхассоциации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bok B. J. and Bok P. F. M. N., 124, 435, 1962.
2. Sharpley H. and Paraskevopoulos J. S. Ap. J., 86, 340, 1937.
3. Амбарцумян В. А. Теоретическая астрофизика. М.—Л., 1939.
4. Johnson H. M. P.A.S.P., 71, 425, 1959.
5. Mathewson D. S. Australian Symposium „The Galaxy and Magellanic Clouds“, 1963.
6. McGee R. X. Australian Symposium „The Galaxy and Magellanic Clouds“, 1963.
7. Haro G. Preprint, 1963.