

## О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ГОЛУБЫХ ЗВЕЗД И ГАЗА ГАЛАКТИКИ М 33

Ц. Б. Георгиев\*, Г. Р. Иванов\*\*

Обработан каталог 481 OB-ассоциаций, в которых отмечено 3599 голубых звезд высокой светимости. Приведены статистические данные об ассоциациях. Сравнены радиальные распределения голубых звезд, нейтрального водорода и ультрафиолетовой яркости диска М 33. Выявленные закономерности интерпретируются как свидетельства о продолжающемся во всей галактике звездообразовании, активность которого коррелирует с концентрацией газа.

A catalogue of 481 OB-associations with 3599 blue stars is processed. Some statistical data about the associations are given. A comparison between the radial distributions of the blue stars, neutral hydrogen and ultraviolet surface brightness of the disk is made. The appeared regularities are explained as evidences of the star formation going on in the whole galaxy, which activity correlates with the gas concentration.

Голубые звезды высокой светимости галактики М 33 встречаются преимущественно в составах звездных комплексов. Используя *B*- и *V*-пластинки, полученные с помощью 4-м телескопа обсерватории на горе Китт Пик, Хэмфри и Сэндидж [1] выявили 143 звездных комплекса с размерами  $\sim 300$  пк. Работая по *U*-, *B*- и *V*-пластинкам, полученным с помощью 2-м телескопа обсерватории на горе Рожен (НРБ), Кынчев и Иванов [2] обнаружили еще около 50 звездных комплексов. На базе *UBV*-фотометрии около 3500 голубых звезд с величинами  $V < 20^m$ , Иванов [3] обнаружил 460 групп синих звезд в М 33. Размеры этих наименьших разрешающихся звездных агрегатов составляют в среднем 80 пк, т. е. они вполне аналогичны ассоциациям нашей Галактики, Магеллановых облаков и галактики М 31 [4].

В работе [3] подтверждена теснейшая связь между звездными комплексами и областями повышенной концентрации пыли и газа. Две или более ассоциации образуют группы с размерами 250—600 пк, которые совпадают с OB-ассоциациями Хэмфри и Сэндиджа [1]. Хотя эти образования выделяются прежде всего повышенной концентрацией OB-звезд, в их состав входят молодые объекты разного типа — HII-области, WR-звезды, цефеиды, красные сверхгиганты и т. п. Следуя Ефремову и др. [5, 4], будем называть эти образования «звездные комплексы», сохраняя термин «звездные ассоциации» для наименьших агрегатов молодых звезд, входящих в состав звездных комплексов.

Радиальное распределение голубых звезд М 33 пока известно в самом общем плане. В работе [1] на базе *BV*-фотометрии  $\sim 1000$  звезд показано, что с удалением от центра концентрация голубых звезд и отношение чисел голубых и красных звезд в общем уменьшаются. В работе Иванова и Кынчева [6] по критериям  $V < 18^m$  и  $U - V < 0^m$ , выделены ярчайшие OB-звезды, которые являются также самыми молодыми звездами галактики М 33. Они встречаются на расстояниях 1—6 кпк от центра М 33, а их концентрация убывает с удалением от центра. Возле центра М 33 таких сразу бросающихся в глаза звезд нет, кроме того, из-за высокого фона звездная фотометрия в других вышеупомянутых работах не проводилась. Лишь фотометрия Иванова [8] показала, что на расстояниях от центра  $R < 1$  кпк наблюдается очень высокая концентрация голубых звезд с величинами  $V > 18^m$ .

\* Секция астрономии Болгарской академии наук.

\*\* Кафедра астрономии Софийского университета.

Галактика М 33 — ближайшая галактика типа Sc, на примере которой весьма важно изучать в деталях разные проявления процесса звездообразования (см. также монографию Шарова [7]). Это в первую очередь касается проблемы связи между молодым населением и диффузной составляющей диска. Этому вопросу уделено достаточно внимания в многочисленных публикациях [7], а также в работах [1, 3], где сравниваются расположения звездных агрегатов и облаков газа и пыли.

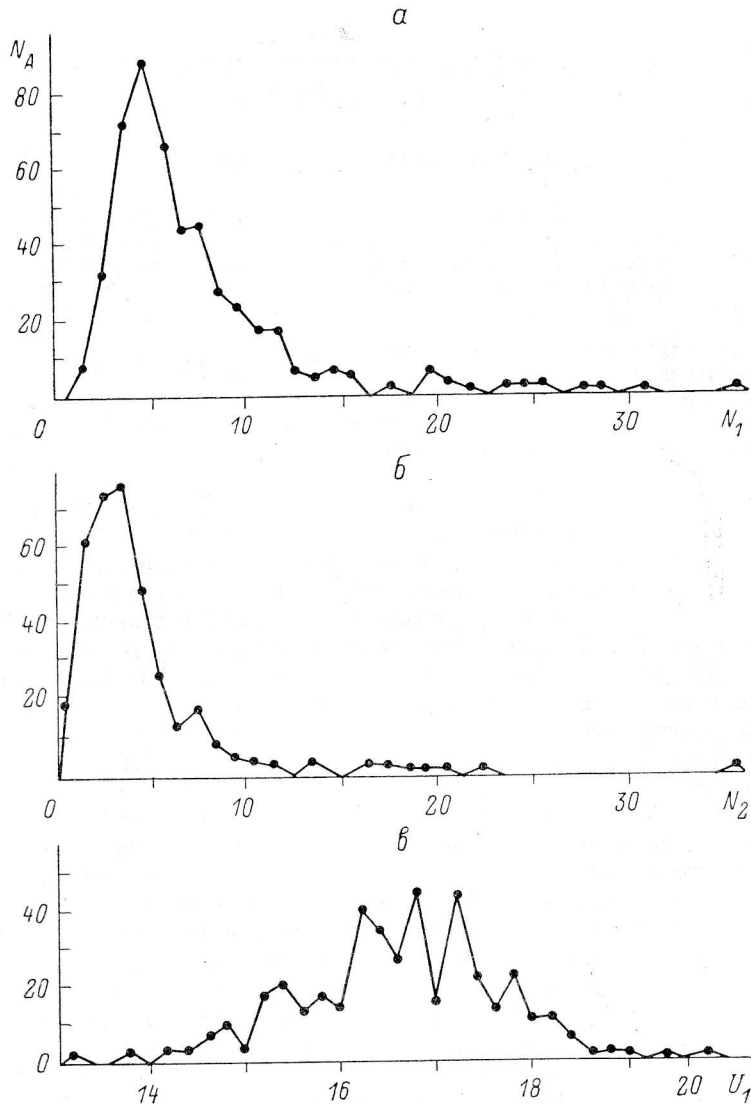


Рис. 1. Распределение чисел ассоциаций  $N_A$  по числам их голубых звезд  $N_1$  (а), OB-звезд  $N_2$  (б) и по интегральной величине их OB-звезд в  $U$ -лучах  $U_1$  (в).

В настоящей работе приводятся статистические данные об ассоциациях галактики М 33 и сравниваются радиальные распределения голубых звезд, поверхностной яркости диска в  $U$ -лучах и концентрации нейтрального водорода.

**Наблюдательный материал и методика его обработки.** В работе Иванова [3] выделено 460 OB-ассоциаций до расстояний  $\sim 6$  кпк от центра М 33. Полное число их «кандидатов в голубые звезды» с величинами  $V < 20^m$ , выявленных методом бликования, составляет 3519. Среди них наблюдаются примерно 1900 OB-звезд, для которых  $U - V < 0^m$ , а число звезд с  $U - V < -0.6^m$  равняется 775. На базе этой работы создан каталог [8], в котором для каждой ассоциации отмечены ее координаты относительно центра М 33, число OB-звезд

$N_1$ , число голубых звезд  $N_2$  и интегральная звездная величина ОВ-звезд в  $U$ -лучах  $U_1$ .

Несколько позже каталог был дополнен. По лучшим  $UBVR$ -пластинкам таутенбургского телескопа (ГДР) удалось найти еще 21 ассоциацию, в которых отмечено 80 голубых звезд [9]. Они располагаются на расстояниях 6—8 кпк от центра галактики М 33, вне поля с диаметром  $1^\circ$ , использованного в работе [3]. Фотометрия звезд ассоциаций, выявленных по таутенбургским пластинкам, пока не проводилась, поэтому соответствующие данные о  $N_2$  и  $U_1$  в каталог не включены. Однако поскольку речь идет о 4 % всех ассоциаций, в которых наблюдается лишь 2 % голубых звезд, неполнота каталога не сказывается на нижеобсуждаемых результатах.

Каталог обработан с помощью ЭВМ PDP 11-34 в Национальной астрономической обсерватории Болгарской академии наук на горе Рожен. В качестве

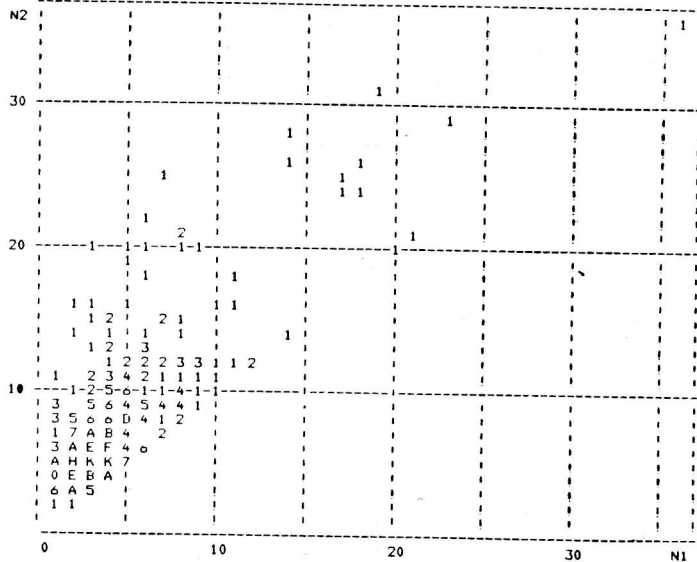


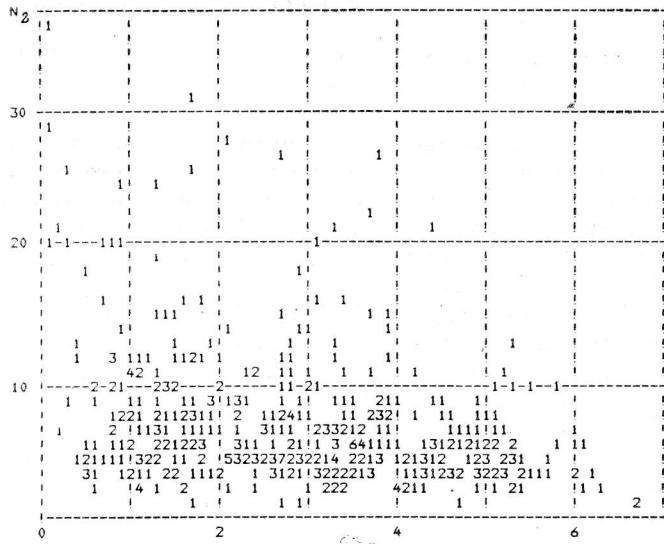
Рис. 2. Совместное распределение ассоциаций по числам их голубых звезд  $N_2$  и ОВ-звезд  $N_1$ . Цифрами обозначены числа ассоциаций, оказавшихся в соответствующей ячейке диаграмм. Буквами А, В, С, ..., Z обозначены соответственно числа 11, 12, 13, ..., 36.

расстояния до галактики М 33 принято значение 690 кпк, при котором  $5'$  изображения соответствуют  $\sim 1$  кпк вдоль большой оси М 33. Для позиционного угла большой оси М 33 принято значение  $22^\circ$ . При ректификациях координат с целью их приведения к виду с полюса М 33 принято значение угла наклона плоскости М 33 к лучу зрения  $i=36^\circ$ . Оно является достаточно близким или совпадает с значениями  $i$ , принятыми в других работах, с которыми проводится сравнение. При построении графиков с учетом каждой звезды в отдельности в качестве ее приблизительных координат использованы координаты центра соответствующей ассоциации.

**Результаты.** Почти все выявленные ассоциации галактики М 33 находятся внутри изофоты на уровне поверхностной яркости  $\mu_V=25.8^m/\square'' 10$  и внутри изолинии, соответствующей поверхностной плотности HI на уровне 20 % от максимальной [11]. Исключение составляют четыре самые удаленные ассоциации, выявленные на расстояниях  $35'-40'$  ( $7.5-8$  кпк) от центра, по одной паре в областях северо-восточной и юго-западной от большой полуоси галактики М 33 [9].

На рис. 1 представлены распределения числа ассоциаций  $N_A$  по их параметрам  $N_1$ ,  $N_2$  и  $U_1$ . Как и следовало ожидать, первые два из них пуассоновского типа, с максимумами соответственно для  $N_1=5$  и  $N_2=4$ . Такого же типа распределения ассоциаций в М 33 и М 31 по размерам [3, 4].

Распределение, приведенное на рис. 1, а, является функцией светимости ассоциаций в  $U$ -лучах, построенной по их ОВ-звездам. Как видно, она гауссовского типа, со средним значением  $\bar{U}_1=16.57^m \pm 1.02^m$ .



Интегральная звездная величина в  $U$ -лучах всех ОВ-звезд, которые рассматриваются в этой работе, равняется  $9.44^m$ . Поскольку интегральная величина галактики М 33 в  $U$ -лучах составляет  $6.20^m$  [10], наши ОВ-звезды создают 5.1 % ультрафиолетового излучения галактики.

На рис. 2 приведено совместное распределение ассоциаций по их числам  $N_1$  и  $N_2$ . В правом верхнем углу диаграммы сразу выделяются 11 богатейших ассоциаций. Четыре из них располагаются в звездном комплексе ОВ 142, на расстоянии 100—200 пк от центра галактики. Следует специально отметить ближайшую к центру и в то время богатейшую ассоциацию 142а. В ней насчитано 36 голубых звезд, которые, по вышеуказанным критериям, являются ОВ-звездами. Остальные богатейшие ассоциации располагаются в спиральных рукавах. Пять из них находятся ближе чем в 2 кпк от центра, и только ассоциации 112а и 84е располагаются несколько дальше.

С удалением от центра населенность богатейших ассоциаций галактики М 31 уменьшается. Этот факт лучше всего иллюстрируется диаграммами типа приведенных на рис. 3, на которых представлены радиальные распределения параметров  $N_1$ ,  $N_2$  и  $U_1$ . Хорошо видно, что на расстояниях  $R < 6$  кпк от центра наблюдается примерно постоянная концентрация бедных ассоциаций, однако с удалением от центра населенность богатейших ассоциаций и их интегральная звездная величина в  $U$ -лучах неуклонно убывает.

На рис. 4 сопоставлены радиальные распределения поверхностной плотности нейтрального водорода  $N_H$  [12], поверхностной яркости  $\mu_V$  [12], число ассоциаций  $N_A$  и параметры их голубых звезд  $N_1$ ,  $N_2$  и  $U_1$  (выраженные в соответствующих единицах на одном квадратном килопарсеке в плоскости галактики М 33), а также распределение 73 ярчайших ОВ-звезд  $N_0$  [2].

Ход концентрации ярчайших ОВ-звезд  $N_0$  в общем соответствует изменению плотности нейтрального водорода  $N_H$ . Видно совпадение максимумов кривых  $N_0$  и  $N_H$  для значений  $R \approx 2$  и 3 кпк и их минимумов для  $R \approx 2.5$  кпк. Самый удаленный от центра максимум  $N_H$ , возле  $R \approx 5$  кпк, имеет заметные аналоги у распределений  $N_A$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  и  $U_1$  и слабо выраженный аналог у распределения  $N_0$ . Следует отметить еще, что локальный минимум распределений  $N_H$  и  $N_0$  на расстоянии от центра  $R \approx 2.5$  кпк имеет плохо выраженные аналоги у распределений  $N_A$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  и  $U_1$ . Последние факты, как и локальные вариации рассматриваемых величин, следует объяснять прежде всего эффектами спиральной структуры галактики М 33 и селекции при отборе звезд. В то же время не вызывает сомнения факт высокой концентрации голубых звезд с величинами  $V < 18^m$  возле центра М 33, где поверхностная плотность водорода несколько понижена.

Распределение числа ассоциаций  $N_A$  и их параметров  $N_1$ ,  $N_2$  и  $U_1$  на расстояниях  $R=1 \div 4$  кпк свидетельствует об уменьшении количества молодого звездного населения галактики М 33 с удалением от ее центра. На рис. 4 видно, что закон этого уменьшения хорошо соответствует закону экспоненциального убывания поверхностной яркости диска М 33 в  $U$ -лучах по Вокулеру [10]. Замечательно, что крутой спад кривых распределений  $N_A$  и  $N_2$  на расстояниях  $R=6 \div 7$  кпк от центра в точности повторяет форму кривой уменьшения плотности водорода. Радиус хорошо выраженного диска галактики М 33, определенный по обрывам распределений нейтрального водорода и голубых звезд, составляет примерно 7 кпк.

На рис. 5 даны азимутальные распределения величин  $N_A$ ,  $N_2$  и  $U_1$ , осредненные по секторам с разворотом  $20^\circ$ . Нуль-пункт абсциссы соответствует юго-восточной малой оси М 33, а увеличение значений азимутального угла  $\alpha$  происходит по направлению вращения часовой оси. Как видно, значения рассматриваемых величин примерно постоянные, что свидетельствует об азимутальной однородности каталога. Локальные максимумы в областях  $\alpha \approx 80$  и  $270^\circ$  вызываются наиболее яркими частями спиральных рукавов S1 и N1.

Рис. 3. Радиальные распределения ассоциаций по числам их голубых звезд  $N_2$  (а), ОВ-звезд  $N$  (б) и интегральной величине ОВ-звезд  $U$  (в).

Цифрами обозначены числа ассоциаций, попавших в данную ячейку диаграммы.

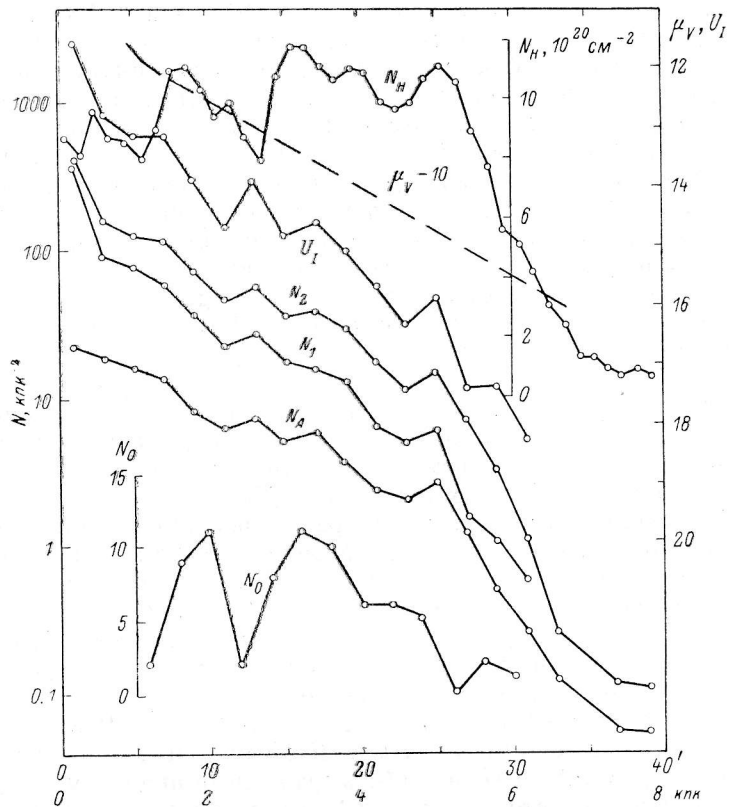


Рис. 4. Радиальное распределение разных параметров диска М33.

$N_0$  — число ярчайших ОВ-звезд из [2];  $N_A$  — число ассоциаций;  $N_1$  — число ОВ-звезд, выделенных фотометрией по критериям  $V < 20$  и  $U - V < 0$  м;  $N_2$  — число голубых звезд, выделенных бликованием;  $U_1$  — интегральная звездная величина ОВ-звезд ассоциаций в  $U$ -лучах;  $\mu_V$  — поверхностная яркость вдоль большой оси изображения в  $U$ -лучах из [6];  $N_H$  — поверхностная плотность HI из [9]. Значения  $N_A$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  и  $U_1$  выражены в соответствующих величинах на один квадратный килопарсек в плоскости галактики М 33.

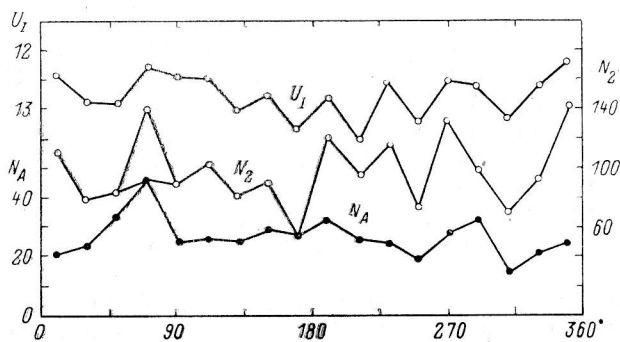


Рис. 5. Азимутальное распределение чисел ассоциаций  $N_A$ , голубых звезд  $N_2$  и интегральных яркостей ОВ-звезд ассоциаций в  $U$ -лучах  $U_1$ , осредненных по секторам с разворотом  $20^\circ$ .

**Заключение.** Сопоставление разных параметров диска М 33 наглядно иллюстрирует генетическую связь между газом и молодым звездным населением плоской составляющей М 33. Радиус, внутри которого наблюдаются ассоциации голубых звезд, совпадает с радиусом высокой плотности газового диска, по-скольку, по-видимому, процесс звездообразования требует некоторой, достаточно высокой концентрации газа.

Интересно сравнить между собой особенности радиальных распределений газа и голубых звезд галактик М 31 и М 33. Исследования комплексов ОВ-звезд [13, 4] и рассеянных скоплений [14] галактики М 31 показали, что ее голубые звезды высокой светимости распределены в виде кольца, максимальная концентрация которого располагается на расстоянии  $R \approx 10$  кпк от центра. Кольцеобразным, с радиусами  $\sim 7$  и  $\sim 15$  кпк является также распределение водорода М 31 [12]. Ярчайшие, следовательно, самые массивные ОВ-звезды галактики М 33 наблюдаются в кольцеобразной зоне наибольшей плотности газа с радиусами  $\sim 1.5$  и  $\sim 5$  кпк. Итак, кольцеобразная структура распределения газа и голубых звезд характерна для обеих галактик, но у М 31 она выражена заметно лучше.

До расстояний  $R \approx 3$  кпк от центра М 31 концентрация нейтрального водорода очень низкая [15], а О-звезды не наблюдаются. В этой области располагается хорошо выявленный балдж, в состав которого входят прежде всего сравнительно далеко проэволюционировавшие звезды. Наоборот, в центральной части галактики М 33 наблюдается очень высокая концентрация ОВ-звезд, свидетельствующая о продолжающемся активном звездообразовании. Всестороннее изучение этого явления, по нашему мнению, может пролить дополнительный свет на историю звездообразования галактики М 33.

#### Литература

1. Humphreys R. M., Sandage A. On the stellar content and structure of the spiral galaxy M 33 // *Astrophys. J. Suppl.* 1980. 44. P. 319—381.
2. Kunchev P. Z., Ivanov G. R. // *Astrophys. Space Sci.* 1984. 106. P. 371—379.
3. Ivanov G. R. Stellar association and complexes in M 33 // *Astrophys. Space Sci.* 1987. 136. P. 113—128.
4. Efremov Yu. N., Ivanov G. R., Nikolov N. S. Star complexes and associations in the Andromeda galaxy // *Astrophys. Sp. Sci.* 1987. 135. P. 119—130.
5. Ефремов Ю. Н. Рассеянные звездные скопления, ассоциации и комплексы // *Астрономия*. 27 (Итоги науки и техники, ВИНТИ АН СССР). М.: 1985. С. 125—134.
6. Ivanov G. R., Kunchev P. Z. Distribution of luminous blue stars in M 33 // *Astron. Nachr.* 1986. 307. P. 379—383.
7. Шаров А. С. Спиральная галактика Мессье 33. М.: Наука, 1988. С. 226—229.
8. Ivanov G. R. A computer catalogue of blue stars in the galaxy M 33. University of Sofia, 1989, in print.
9. Ivanov G. R., Georgiev T. B., Kunchev P. Z. // *Astron. Nachr.* 1989, in print.
10. Vaucouleurs G. de. Photoelectric photometry of Messier 33 in the UBV-system // *Astrophys. J.* 1959. 130. P. 728—738.
11. Huchtmeier W. K. A sensitive single-dich HI-survey of the galaxy M 33 // *Structure and properties of nearby galaxies (IAU Symposium No. 77) / Ed. E. M. Berkhuysen, R. Wielebinski. Dordrecht, 1978. P. 197—201.*
12. Newton K. Neutral hydrogen and spiral structure in M 33 // *Mon. Not. R. Ast. Soc.* 1980. 190. P. 689—709.
13. Bergh S. van den. Stellar associations in the Andromeda Nebula // *Astrophys. J. Suppl.* 1964. 9. P. 65—80.
14. Hodge P. W. The open star clusters of M 31 and its spiral structure // *Astron. J.* 1979. 84. P. 744—751.
15. E m e r s o n D. T. // *La dynamique des galaxies spirales (Coll. Int. CNRS No. 241) / Ed. Weliachev. Paris, 1975. P. 242.*

Поступила в редакцию  
20 марта 1989 г.