

Л. В. МИРЗОЯН, Э. С. КАЗАРЯН, О. С. ЧАВУШЯН

## ОЦЕНКИ СРЕДНИХ ВОЗРАСТОВ O-B5 ЗВЕЗД НА ОСНОВЕ ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ЗВЕЗДНЫХ АССОЦИАЦИЯХ

Расширение и распад звездных ассоциаций, обусловленные динамической неустойчивостью этих систем [1, 2], приводят к определенному распределению молодых звезд в Галактике относительно центров звездообразования. Вследствие этого пространственное распределение молодых звезд в звездных ассоциациях содержит в себе ценную информацию космогонического характера. Как показано одним из авторов [3], это распределение, в частности, может служить основой для определения темпов развития молодых звезд.

При исследовании этого вопроса для получения более надежных результатов целесообразно использовать статистические данные о совокупности звездных ассоциаций в Галактике. В этом случае оказывается удобным рассмотрение синтетической ассоциации, представляющей собой суперпозицию подсистем вокруг ядер известных ассоциаций [4, 5]. Это позволяет избежать затруднений, связанных с малочисленностью O-B звезд в отдельных ассоциациях и наличием нескольких ядер в некоторых из них.

Именно рассмотрение синтетической ассоциации уже позволило определить закон распределения O-B звезд вокруг ядер звездных ассоциаций и на этой основе получить некоторые предварительные данные о темпах развития этих звезд [3].

Настоящая работа\* является продолжением этого исследования, основанном на имеющемся в настоящее время уточненном и более богатом наблюдательном материале.

Данные об использованных звездах взяты из работ Хилтнера [6], Рубин и коллег [7] и из каталога Вильсона [8]\*\*, а об O-ассоциа-

\* Основные результаты работы были доложены на Бюраканском симпозиуме по физике звезд и туманностей 17 сентября 1968 г.

\*\* Для звезд из каталога Вильсона расстояния вычислены нами с помощью спектральных параллаксов [9].

циях и их ядрах — из исправленного списка О-ассоциаций Рупрехта [10]\*.

Всего было использовано 1954 звезды спектральных классов О-В5, которые по использованным источникам распределяются следующим образом: 927 [6], 836 [7] и 191 [8]. Все звезды были разделены на четыре группы по спектрам: О—В0, В0.5—В1, В1.5—В2, В2.5—В5. При выборе ширины интервалов спектральных классов ставилась цель иметь достаточно большое число звезд в каждой группе. Напомним, что в работе [3] число использованных звезд было 744.

Распределение ( $n$ ) всех использованных звезд по спектрам ( $Sp$ ) представлено в табл. 1, где, кроме того, в третьей строке дано  $N$ —общее число звезд в каждой из указанных групп, а в четвертой  $N_0$ —число звезд, расположенных в шаре радиусом в 500 пс вокруг центра синтетической ассоциации, вошедших в окончательные вычисления.

При обработке наблюдательных данных мы исходили из допущения, что все О-В5 звезды были выброшены из ядер звездных ассоциаций, которые в настоящее время, расширяясь, распадаются. Имеющиеся данные [3], а также дальнейшее изложение подтверждают справедливость этого допущения.

Для каждой из рассмотренных звезд по ее расположению на небе и по приблизительной оценке ее расстояния было выбрано вероятное ядро, с которым она генетически связана. Затем, используя распределение звезд каждой группы вокруг центра синтетической ассоциации в проекции на небесную сферу, с учетом существующих различий в расстояниях подсистем звезд вокруг отдельных ядер, была вычислена пространственная звездная плотность численным решением уравнения Абеля по приближенной формуле Валленквиста для десяти-слойной модели [14].

В табл. 2 приведены исходные данные и результаты вычислений: интервал расстояний  $r$  от ядра синтетической ассоциации в проекции на небесную сферу в  $кпс$ ,  $N_i$ —число звезд в данном интервале расстояний,  $d(r)$ —пространственная звездная плотность в  $кпс^3$ .

Решения данных табл. 2 способом наименьших квадратов с использованием „гиперболического“ приближения [4]\*\*

$$(\lg d)^2 = (2 \lg r - a)^2 - b^2 \quad (1)$$

приводит к значениям постоянных  $a$  и  $b$ , представленных в табл. 3.

\* Использование данных об О-ассоциациях и их ядрах других авторов [11—13] привело к результатам, качественно согласующимся с изложенными выше. Поэтому мы здесь их не приводим.

\*\* Применение „гиперболического“ приближения не является ограничением. Вычисления с использованием „параболического“ приближения:  $\lg d(r) = a(\lg r)^2 + b \lg r + c$  приводят в итоге к аналогичным результатам.

Таблица 1

Распределение использованных O-B5 звезд по спектрам

Sp	O5	O5.5	O6	O6.5	O7	O7.5	O8	O8.5	O9	O9.5	B0	B0.5	B1	B1.5	B2	B2.5	B3	B3.5	B4	B5	O5-B5
n	17	1	35	3	41	5	69	2	68	41	233	202	355	17	314	13	310	7	25	196	1954
N	515										557			331			551			1954	
N <sub>0</sub>	499										549			327			537			1912	

Таблица 2

Пространственные плотности O-B5 звезд в синтетической ассоциации

$\rho$ (кпс)	$N_i$				$d(r)$			
	O-B0	B0.5-B1	B1.5-B2	B2.5-B5	O-B0	B0.5-B1	B1.5-B2	B2.5-B5
0-0.05	244	235	68	125	$4.13 \cdot 10^5$	$3.89 \cdot 10^5$	$9.45 \cdot 10^4$	$1.87 \cdot 10^5$
0.05-0.10	96	102	61	79	$2.38 \cdot 10^4$	$1.83 \cdot 10^4$	$9.20 \cdot 10^3$	$8.30 \cdot 10^3$
0.10-0.15	60	100	69	102	$6.22 \cdot 10^3$	$1.09 \cdot 10^4$	$6.86 \cdot 10^3$	$9.11 \cdot 10^3$
0.15-0.20	38	58	48	74	$2.86 \cdot 10^3$	$4.51 \cdot 10^3$	$2.94 \cdot 10^3$	$4.64 \cdot 10^3$
0.20-0.25	15	23	29	46	$6.14 \cdot 10^2$	$7.47 \cdot 10^2$	$1.44 \cdot 10^3$	$1.24 \cdot 10^3$
0.25-0.30	10	18	13	42	$2.51 \cdot 10^2$	$7.49 \cdot 10^2$	$1.99 \cdot 10^2$	$1.25 \cdot 10^3$
0.30-0.35	14	6	14	27	$2.87 \cdot 10^2$	$1.30 \cdot 10^3$	$2.18 \cdot 10^2$	$4.92 \cdot 10^2$
0.35-0.40	10	4	12	21	$1.92 \cdot 10^2$	8.60.10	$2.87 \cdot 10^2$	$4.29 \cdot 10^2$
0.40-0.45	6	2	9	12	$1.01 \cdot 10^2$	3.37.10	5.32.10	$1.40 \cdot 10^2$
0.45-0.50	3	1	4	9	6.91.10	2.31.10	9.22.10	$2.07 \cdot 10^2$

Вычисленные плотности (табл. 2) и их решения (табл. 3) графически представлены на рис. 1. Они вновь подтверждают полученный ранее вывод [5, 15] о том, что вследствие старения звезд с удалением от ядра синтетической ассоциации падение пространственной плотности значительно отклоняется от закона  $\sim r^{-2}$ , справедливого в случае ее стационарности.

Таблица 3  
Величины постоянных в уравнениях (1)

Группа	$a$	$b$
O—B0.5	3.78	4.15
B0.5—B1	3.89	4.27
B1.5—B2	2.38	2.25
B2.5—B5	2.46	2.04

Полученные сглаженные значения звездной плотности могут служить основой для исследования процесса старения звезд в ассоциациях с удалением от порождающих их ядер и для оценки их средних возрастов. Для этой цели удобно использовать функцию старения звезд [16]:

$$F(r) = r^3 d(r). \quad (2)$$

Функция старения звезд, представляющая собой зависимость от расстояния потока расширяющихся из одного центра звезд, фактически характеризует темпы старения звезд с удалением от ядра ассоциации.

Очевидно, что для всей расширяющейся совокупности звезд этот поток должен быть постоянен на разных расстояниях от центра синтетической ассоциации. Однако для звезд, принадлежащих узким интервалам спектральных классов, функция  $F(r)$  должна убывать с расстоянием от центра синтетической ассоциации вследствие их старения с удалением от соответствующих ядер. Это позволяет по скорости убывания  $F(r)$  оценить темпы развития или скорость старения звезд, а также их средний возраст.

Наблюдательные данные показывают [3, 16], что процесс старения молодых O—B звезд в первом приближении обладает свойствами статистического процесса. Поэтому функция старения звезд может быть представлена экспоненциальной функцией:

$$F(r) = C e^{-\alpha(t-t_0)}, \quad (3)$$

где  $C$  и  $\alpha$  — постоянные,  $t$  — время, истекшее с момента рождения и выброса первых звезд потока, а  $t_0$  — фиксированный момент. Очевидно, что

$$t - t_0 = \frac{r - r_0}{V} \quad \text{и} \quad F(r_0) = C,$$

где  $r$  и  $r_0$  — расстояния от центра в моменты  $t$  и  $t_0$ , а  $V$  — скорость расширения ассоциации.

Нетрудно показать, что постоянная  $\alpha$  однозначно определяет период полустарения или средний возраст рассматриваемых звезд:  $T = \alpha^{-1}$ .

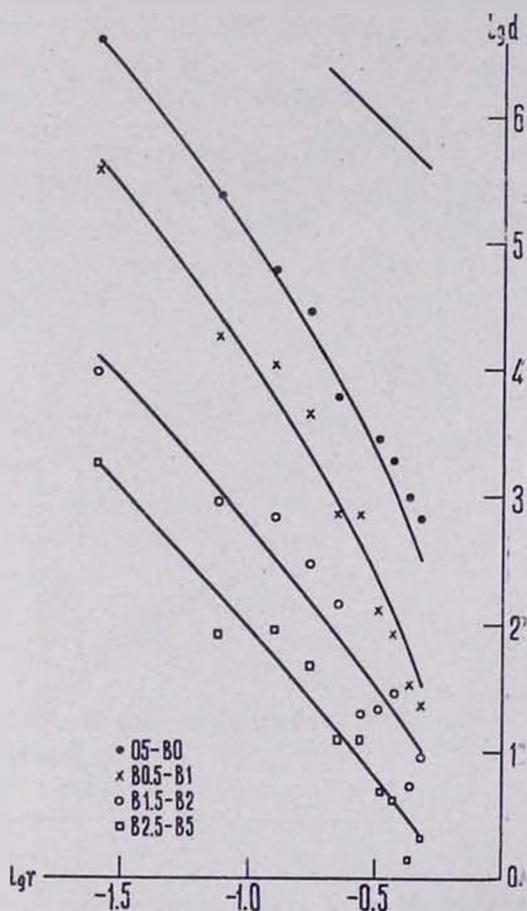


Рис. 1. Распределение пространственной плотности O-B5 звезд вокруг ядра синтетической ассоциации. Кривые проведены по решениям способом наименьших квадратов результатов вычислений  $d(r)$ , в „гиперболическом“ приближении.

Полученные сглаженные значения  $d(r)$ , представленные уравнениями (1) и табл. 3, нами использованы для вычисления функции.

старения  $F(r)$  по формуле (2). Результаты вычислений графически представлены на рис. 2 (в логарифмической шкале). Почти прямолинейная зависимость  $\lg F(r)$  от  $r$  во всех рассмотренных случаях, то есть возможность представления функции старения звезд экспоненциальным выражением, показывает, что доля стареющих O-B звезд в потоке в среднем одинакова на разных расстояниях от порождающих их ядер. Это и дает возможность оценить средние возрасты рассматриваемых нами звезд. Действительно, при справедливости представления (3) угловой коэффициент зависимостей на рис. 2 выражается формулой

$$p = \frac{\alpha}{V} \text{Mod}, \quad (4)$$

где  $\text{Mod}$  — десятичный логарифм основания натуральных логарифмов. Следовательно, определение  $p$  равносильно определению  $\alpha$  или среднего возраста звезд  $T$ .

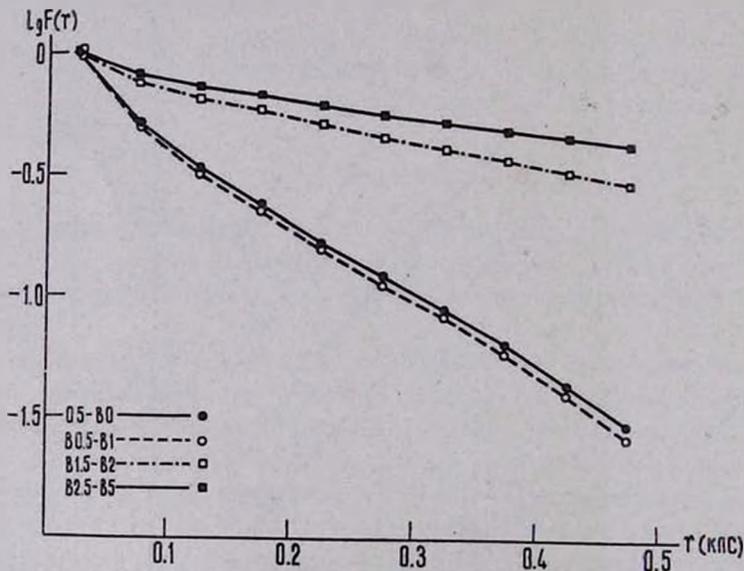


Рис. 2. Функция старения звезд, вычисленная по формуле (2), на основе сглаженных значений звездной плотности („гиперболическое“ приближение).

Вычисление среднего возраста звезд с использованием наших данных может привести к недооценке этой величины из-за неучета влияния градиента средней скорости расширения по радиусу синтетической ассоциации. Дело в том, что неодновременный выход звезд из порождающих их ядер и существующая дисперсия в скоро-

стях вылета приводят к тому, что средняя скорость расширения ассоциации оказывается возрастающей функцией от расстояния до ее ядра [3, 15]. Поэтому наблюдаемое уменьшение потока О-В5 звезд с удалением от ядра синтетической ассоциации обусловлено не только процессом старения этих звезд, но также наличием градиента средней скорости расширения в синтетической ассоциации.

Влияние этого фактора на вычисленные средние возрасты звезд мы оценили, считая, что средняя скорость расширения в синтетической ассоциации линейно растет в  $k$  раз от ближайших окрестностей ядра ( $r = 0$ ) до расстояния  $r = 500$  пс. Вычислив средние возрасты звезд для различных значений  $k$ , можно затем оценить влияние фактора  $k$ . При этом для истинного звездного потока вместо  $F(r)$  следует использовать выражение  $F(r) \cdot V(r)$ , где  $V(r)$  — средняя скорость расширения синтетической ассоциации на расстоянии  $r$  от ее ядра.

В табл. 4 приводятся оценки средних возрастов звезд для всех исследованных групп для двух значений  $k$ : 1 (градиент средней скорости расширения отсутствует) и 2. Последние оценки, по-видимому, ближе к действительности, так как наблюдения указывают на величину  $k \approx 2$  [4].

Таблица 4  
Средние возрасты О-В5 звезд

Группа	$p$ (япс <sup>-1</sup> )	$z \cdot 10^{15}$ (сек <sup>-1</sup> )	$T \cdot 10^{-7}$ (лет)	
			$k = 1$	$k = 2$
О5—В0	3.22	2.41	1.3	1.6
В0.5—В1	3.32	2.48	1.3	1.6
В1.5—В2	1.12	0.84	3.8	8.2
В2.5—В5	0.78	0.58	5.5	23.6

Данные табл. 4 полностью подтверждают и заметно расширяют оценки средних возрастов О-В звезд, полученные в работе [3] несколько иным путем и на основе менее богатого статистического материала.

Если допустить, что развитие звезд идет в направлении к более поздним спектральным классам, то следует учесть также влияние этого явления на полученные выше оценки. Дело в том, что вследствие этого с удалением от ядра синтетической ассоциации все рассмотренные группы, кроме первой, вместе с потерей своих стареющих членов приобретают новые члены за счет стареющих членов предшествующих групп.

Для учета этого фактора требуется знание абсолютных величин  $F(r)$  для всех групп. Между тем, в наших данных с этой точки зрения имеется некоторая неопределенность, связанная с избиратель-

ностью наблюдений: относительный процент известных звезд различен для разных спектральных классов.

Следует думать, однако, что влияние этого фактора на приведенные оценки средних возрастов звезд должно быть, по-видимому, небольшим. Так, например, если считать, что относительный процент известных звезд среди первой и второй групп примерно одинаков, то приведенный в табл. 4 средний возраст для звезд второй группы, исправленный за влияние указанного фактора, оказывается разным  $1.40 \cdot 10^7$  лет (для  $k=1$ ). В действительности же эта оценка несколько завышена, так как относительный процент известных звезд для второй группы должен быть меньше, чем тот же процент для первой группы.

Представленные в табл. 4 оценки средних возрастов звезд на самом деле относятся к среднему времени пребывания звезд в соответствующих интервалах спектральных классов. Они зависят не только от скорости старения звезд на единичном отрезке спектральной последовательности, но и от длины рассматриваемого интервала. Этим, вероятно, можно объяснить близость оценок для первой и второй групп.

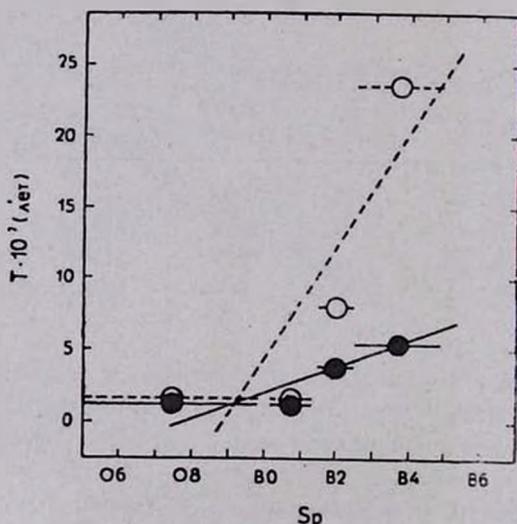


Рис. 3. Средние возрасты O-B5 звезд при:  $k=1$  (темные кружки) и  $k=2$  (светлые кружки). Длина отрезков соответствует ширине соответствующих спектральных интервалов.

Вместе с тем полученный ход среднего возраста соответствует существующим оценкам возрастов звезд, полученным другими методами, и свидетельствует о законности использованного нами метода. Сказанное иллюстрируется рис. 3, где длина отрезков соответствует

ширине соответствующих интервалов спектральных классов, а высота — среднему возрасту звезд рассматриваемой группы.

10 септября 1968 г.

Լ. Վ. ՄԻՐՁՈՅԱՆ, Է. Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Չ. Ս. ԶԱՎՈՒՇՅԱՆ

О—B5 ԱՍՏՂԵՐԻ ՄԻՋԻՆ ՏԱՐԻՔՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆՆԵՐ  
ԱՍՏՂԱՍՓՅՈՒՆԵՐՈՒՄ ՆՐԱՆՑ ԲԱՇԽՄԱՆ ԶԻՄԱՆ ՎՐԱ

Ա մ փ ո փ ու մ

Դիտողական նյութի (աղյուսակ 1) հիման վրա որոշվել են O-B0, B0.5—B1, B1—B2 և B2.5—B5 աստղերի տարածական բաշխումները սինթետիկ աստղասփյուռում (աղյուսակ 2); Ստացված տվյալները կլորացվել են «հիպերբոլական» մոտավորությամբ (1) (աղյուսակ 3): Այդ տվյալների միջոցով գնահատվել են սպեկտրալ դասերի հիշյալ ինտերվալներից յուրաքանչյուրի աստղերի միջին տարիքները ընդունելով, որ յուր աստղերը դուրս են շարտվել լայնացող աստղասփյուռների միջուկներից, իսկ աստղառաջացման երևույթի նկատմամբ սինթետիկ աստղասփյուռը գտնվում է ստացիոնար վիճակում: Այդ նպատակով օգտագործված է աստղերի ծերացման  $F(\tau)$  ֆունկցիան [16], որն իրենից փաստորեն ներկայացնում է տվյալ սպեկտրալ դասի աստղերի մի կենտրոնից լայնացող հոսքի կախումը հեռավորությունից (2) և ընտրվում է աստղերի ծերացման տեմպերը սինթետիկ աստղասփյուռի կենտրոնից հեռանալիս: Հաշվի առնելով, որ փաստական տվյալների համաձայն O—B աստղերի ծերացման պրոցեսը առաջին մոտավորությամբ օժտրված է վիճակադրական պրոցեսի հատկություններով [3, 16] աստղերի ծերացման ֆունկցիան ներկայացված է (3) արտահայտությամբ: Եթե աստղասփյուռի լայնացման արագությունը հաստատուն է, ապա դիտողական տվյալների հիման վրա կառուցված  $[lg F(\tau), \tau]$  ուղղադիտ կախման (նկ. 2) անկյունային գործակցի որոշումը համարժեք է աստղերի միջին տարիքի գնահատմանը: Իրականում լայնացման միջին արագությունը աճում է աստղասփյուռի կենտրոնից հեռանալիս: Բերված են O—B5 աստղերի հասակների գնահատականները (աղյուսակ 2) լայնացման հաստատուն ( $k=1$ ) և հեռավորությունից զծայնորեն կախված ( $k=2$ ) արագությունների դեպքում: O—B5 աստղերի միջին տարիքի դիտվող կախումը՝ սպեկտրալ դասից (նկ. 3) համապատասխանում է այդ աստղերի տարիքի այլ մեթոդներով ստացված գնահատականներին և վկայում է օգտագործված մեթոդի օրինականությունը:

## EVALUATIONS OF THE MEAN AGES OF O-B5 STARS BASED ON THEIR DISTRIBUTION IN STELLAR ASSOCIATIONS

## S u m m a r y

On the basis of the observational material (Table 1) the space distributions of O—B0, B0.5—B1, B1.5—B2 and B2.5—B5 stars in the synthetic stellar association (Table 2) have been determined. By means of the obtained data taken with the „hyperbolic“ approximation (1) (Table 3) the mean ages of the stars for each of the mentioned intervals of spectral types have been evaluated. It has been supposed that all stars have been ejected from the nuclei of the expanding stellar associations and that the synthetic association regarding to the phenomenon of stellar formation is in a stationary state. The stellar ageing function  $F(r)$  [16] is used, which actually presents the dependence of the flow of expanding stars of a given spectral type from the distance (2) and determines their aging rates. Taking into account that, according to the observational data, the process of O-B stars aging has, in a first approximation, the properties of a statistical process [3, 16],  $F(r)$  is presented by an exponential function (3). If the velocity of expansion in the association is constant, then the determination of the slope of the linear relation  $[\lg F(r), r]$  (Fig. 2), obtained on the basis of the observational data, is equivalent to the evaluation of the mean ages of stars. In fact the mean velocity of expansion increases with the distance from the centre of the synthetic association. The evaluations of O—B5 stars ages for two cases—of a constant velocity of expansion ( $k=1$ ) and of a velocity, increasing linearly with the distance ( $k=2$ )—are presented (Table 2). The observed dependence of the mean ages of O—B5 stars from the spectral type (Fig. 3) corresponds to the known evaluations of ages obtained by other methods and testifies the validity of the used method.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбагцумян, Астрон. ж., 26, 3, 1949.
2. В. А. Амбагцумян, Вводный доклад на симпозиуме по эволюции звезд, АН СССР, М., 1952.
3. Л. В. Мирзоян, Астрофизика, 1, 109, 1965.
4. Л. В. Мирзоян, Сообщения Бюраканской обсерватории, 29, 81, 1961.
5. Л. В. Мирзоян, Сообщения Бюраканской обсерватории, 33, 41, 1963.
6. W. A. Hiltner, Ap. J., Suppl. series, 2, 389, 1955.
7. V. C. Rubin et al., A. J., 67, 491, 1962.
8. R. E. Wilson, General Catalogue of Stellar Radial Velocities, Washington, 1953.
9. Л. В. Мирзоян, Изв. АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 11, № 5, 71, 1958.
10. J. Ruprecht, Transactions of the IAU, XIII B, 350, 1966.

11. Б. Е. Маркарян, ДАН АрмССР, 15, 11, 1952.
12. W. W. Morgan, A. D. Code, A. E. Whitford, Ap. J., 118, 318, 1953.
13. K. H. Schmidt, Astr. Nachr., 284, 76, 1958.
14. A. Wallenquist, Uppsala astr. obs. Medd., No. 127, 1960.
15. Л. В. Мирзоян, ДАН СССР, 150, 68, 1963.
16. Л. В. Мирзоян, Диссертация, ГАО АН СССР, 1967.