

УДК 524.38

О. В. Еретнова, Т. В. Краснова, М. А. Свечников

Челябинский государственный университет  
454021, Россия, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129**Эволюционный статус контактных тесных двойных звезд ранних спектральных классов**

*На основе данных «Каталога приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд» Свечникова М. А. и Кузнецовой Э. Ф. построена диаграмма Герципрунга—Рассела для контактных тесных двойных систем ранних спектральных классов (КР-систем). Для этих двойных систем получены следующие распределения: избыток светимости — масса, избыток радиуса — масса, избыток светимости — отношение масс и избыток радиуса — отношение масс. Все контактные тесные двойные звезды ранних спектральных классов разделены на четыре группы: 1 — массивные КР-системы, оба компонента которых принадлежат начальной главной последовательности; 2 — массивные КР-системы, оба компонента которых принадлежат конечной главной последовательности; 3 — маломассивные системы, прошедшие стадию процесса «перемены ролей» компонентов ( $q < 0.5$ ); 4 — маломассивные системы, не испытавшие «перемены ролей» компонентов ( $q \geq 0.5$ ). Для маломассивных КР-систем с  $q < 0.5$ , короткопериодических разделенных систем главной последовательности (РГП-систем) с  $P < 2^d$  и спектрами главного компонента от F2 до A5 и полуразделенных систем типа R CMa построена диаграмма Каретникова. Полученные результаты служат доказательством того, что маломассивные КР-системы произошли от короткопериодических РГП-систем, пройдя стадию полуразделенных систем типа R CMa. Для каждой группы КР-систем оценена пространственная плотность с учетом эффектов наблюдательской селекции. Наиболее многочисленными среди КР-систем являются маломассивные системы, прошедшие процесс «перемены ролей» компонентов.*

**ЕВОЛЮЦІЙНИЙ СТАТУС КОНТАКТНИХ ТІСНИХ ПОДВІЙНИХ ЗІРОК РАНИХ СПЕКТРАЛЬНИХ КЛАСІВ**, Еретнова О. В., Краснова Т. В., Свечников М. А. — На основі даних «Каталога приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд» Свечникова М. А. и Кузнецовой Э. Ф. побудовано діаграму Герципрунга—Рассела для контактных тесных двойных систем ранних спектральных классов (КР-систем). Для цих подвійних систем отримані такі розподіли: надлишок світимості — маса, надлишок радіуса — маса, надлишок світимості — відношення мас та надлишок радіуса — відношення мас. Всі контактні тісні подвійні зірки ранних спектральных классов поділено

на чотири групи: 1) масивні КР-системи, обидва компоненти яких належать до початкової головної послідовності; 2) масивні КР-системи, обидва компоненти яких належать до кінцевої головної послідовності; 3) маломасивні системи, що пройшли стадію «обміну ролей» компонентів ( $q < 0.5$ ); 4) маломасивні системи, що не пройшли стадії «обміну ролей» компонентів ( $q \geq 0.5$ ). Для маломасивних КР-систем з  $q < 0.5$ , короткоперіодичних розділених систем головної послідовності (РГП-систем) з  $P < 2^d$  та спектром головного компонента від F2 до A5 і напіврозділених систем типу R CMa побудовано діаграму Каретникова. Отримані результати свідчать, що маломасивні КР-системи походять від короткоперіодичних РГП-систем, які пройшли стадію напіврозділених систем типу R CMa. Для кожної групи КР-систем оцінено просторову густину з урахуванням ефектів спостережної селекції. Найчисленнішими серед КР-систем виявилися маломасивні системи, що пройшли стадію «обміну ролей» компонентів.

*THE EVOLUTION STATUS OF CONTACT CLOSE BINARIES OF EARLY SPECTRAL TYPES, by Eretnova O. V., Krasnova T. V., Svechnikov M. A. — Hertzsprung — Russel diagram is constructed for contact close binary stars of early spectral types (CE-systems) on the basis of the “Catalogue of approximate photometric and absolute elements of eclipsing variable stars” by Svechnikov M. A. and Kuznetsova E. F. The excess luminosity — mass, excess radius — mass, excess luminosity — mass ratio, and excess radius — mass ratio relations are obtained for these binary systems. All contact close binary stars of early spectral types are subdivided into 4 groups: 1) massive CE-systems of the pre-main sequence; 2) massive CE-systems of the post-main sequence; 3) low mass systems that have passed the «role exchange» phase ( $q < 0.5$ ); 4) low mass systems which have not passed the mass exchange phase ( $q \geq 0.5$ ). Karetnikov’s diagram is constructed for low-mass CE-systems with  $q < 0.5$ , short-period detached main-sequence systems (DMS-systems) with  $P < 2^d$  and Sp1 from F2 to A5, and semi-detached systems of the R CMa type. The results prove that low-mass CE-systems with  $q < 0.5$  descended from short-period DMS-systems having passed the stage of semi-detached R CMa systems. The spatial density of stars in every CE-group is estimated taking into account the effect of observational selection. The low-mass stars which have experienced mass exchange are the most numerous among CE-systems.*

## ВВЕДЕНИЕ

Согласно классификации М. А. Свечникова [9, 10, 14] контактные системы ранних спектральных классов (КР-системы) — это системы, где оба компонента близки по размерам к соответствующим внутренним критическим поверхностям (ВКП) или заполняют их. Спектр главного компонента (более массивного) — не позже F0, периоды превышают  $0.5^d$ . Спектр спутника либо такой же, как у главной звезды, либо более поздний.

К тесным двойным системам ранних спектральных классов относятся около 15 % всех двойных звезд, среди которых встречаются системы, находящиеся на различных стадиях эволюции. Однако эволюционный статус таких систем полностью еще не ясен. С целью его уточнения мы изучаем некоторые статистические зависимости, позволяющие разделить изучаемые КР-системы на эволюционно однородные группы.

Исследование КР-систем основано на материале «Каталога приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд» М. А. Свечникова и Э. Ф. Кузнецовой [12]. Он содержит наиболее полные сведения о тесных двойных системах. В нем собраны данные о 392

КР-системах, из которых 163 системы с известным спектром главного компонента.

### 1. ДИАГРАММА ГЕРЦШПРУНГА—РАССЕЛА

Для КР-систем с известным спектром главного компонента получена диаграмма Герцшпрунга — Рассела (рис. 1, 2), из которой видно, что главные компоненты имеют спектры от O5 до F3, а спутники — от O8 до G7. Главные компоненты располагаются вблизи начальной главной последовательности (НГП), построенной согласно Мейдеру и Мейнету [18]. На диаграмме заметны более заселенные КР-системами участки и участки разрежений. На основании этого КР-системы поделены на три группы:

1) массивные системы с массой главного компонента  $M_1 > 16M_{\odot}$  и спектром от O5 до B1;

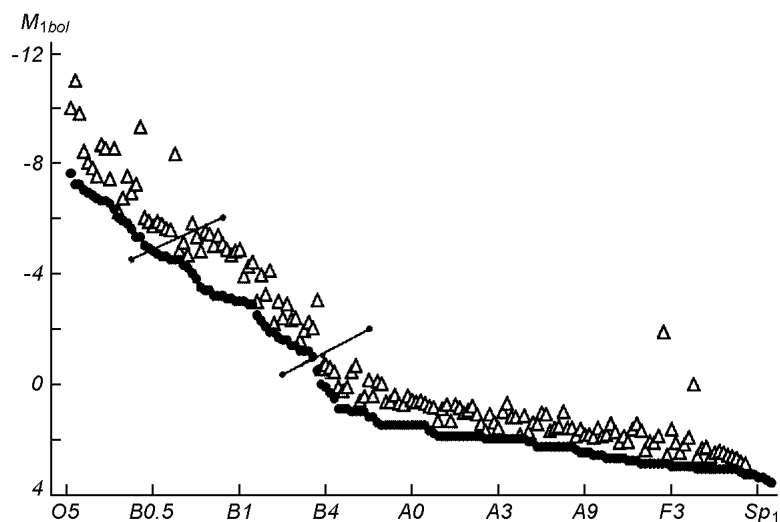


Рис. 1. Диаграмма Герцшпрунга — Рассела для главных компонентов КР-систем с известным спектром главного компонента

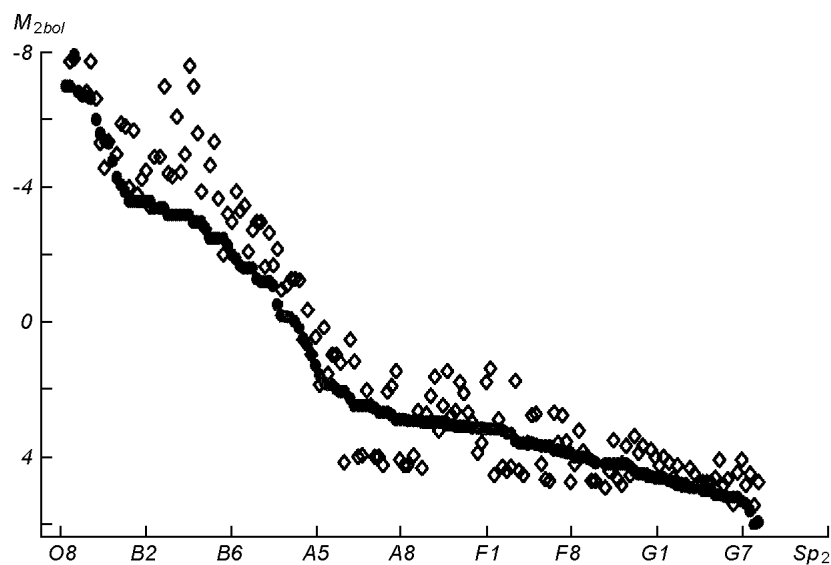


Рис. 2. Диаграмма Герцшпрунга — Рассела для спутников КР-систем с известным спектром главного компонента

2) среднемассивные КР-системы с массой главного компонента от  $16M_{\odot}$  до  $4.1M_{\odot}$  и спектром от В1 до В8.5;

3) маломассивные системы с массой  $M_1 < 4.1M_{\odot}$  и спектром главной звезды позднее В8.5.

Спутники большинства массивных и среднемассивных систем, как и их главные компоненты, располагаются в пределах НГП (рис. 2). Эти системы находятся на ранних стадиях эволюции и, вероятно, уже при образовании были близки к контакту. У небольшой группы массивных систем как главные компоненты, так и спутники расположены существенно правее начальной главной последовательности. Это говорит о том, что они проэволюционировали и сейчас находятся на конечной главной последовательности.

Главные компоненты маломассивных КР-систем также расположены на диаграмме Герцшпрунга — Рассела в пределах главной последовательности. У спутников же отклонения от начальной главной последовательности гораздо больше, а часть их расположена на диаграмме левее начальной главной последовательности. По-видимому, большинство маломассивных КР-систем испытали процесс «перемены ролей» прежде, чем они достигли контакта.

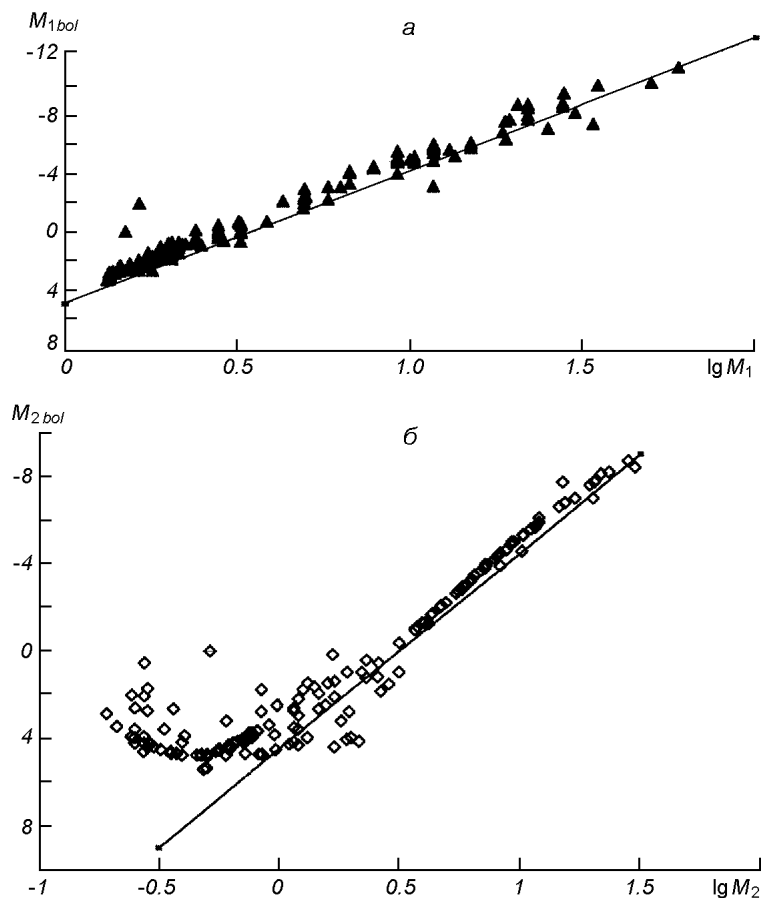


Рис. 3. Зависимость масса — светимость для КР-систем с известным спектром главного компонента: а — для главных компонентов, б — для спутников. Сплошные линии — данные [2] для главных компонентов

2. ЗАВИСИМОСТЬ МАССА—СВЕТИМОСТЬ И МАССА—РАДИУС

На рис. 3 и 4 представлены зависимости масса — светимость и масса — радиус для главных компонентов и спутников КР-систем с известным спектром главного компонента. Сплошные линии — данные для звезд главной последовательности, полученные С. Ю. Гордой и М. А. Свечниковым [2]. На зависимостях для главных компонентов (рис. 3, *a* и 4, *a*) можно заметить более заселенные КР-системами участки и менее заселенные, что подтверждает возможность разделения КР-систем на три указанные выше группы.

Главные компоненты КР-систем практически не отклоняются от зависимости масса — светимость для звезд главной последовательности, в отличие от спутников. Значительные избытки светимостей имеют спутники маломассивных систем с малыми значениями отношения масс  $q$  (рис. 3, *б*). Кроме того, спутники маломассивных систем существенно отклоняются от зависимости масса — радиус для звезд главной последовательности (рис. 4, *б*), что может свидетельствовать о том, что эти системы уже испытали процесс «перемены ролей».

Главные компоненты большинства маломассивных и всех среднемассивных КР-систем хорошо удовлетворяют зависимости масса — радиус для

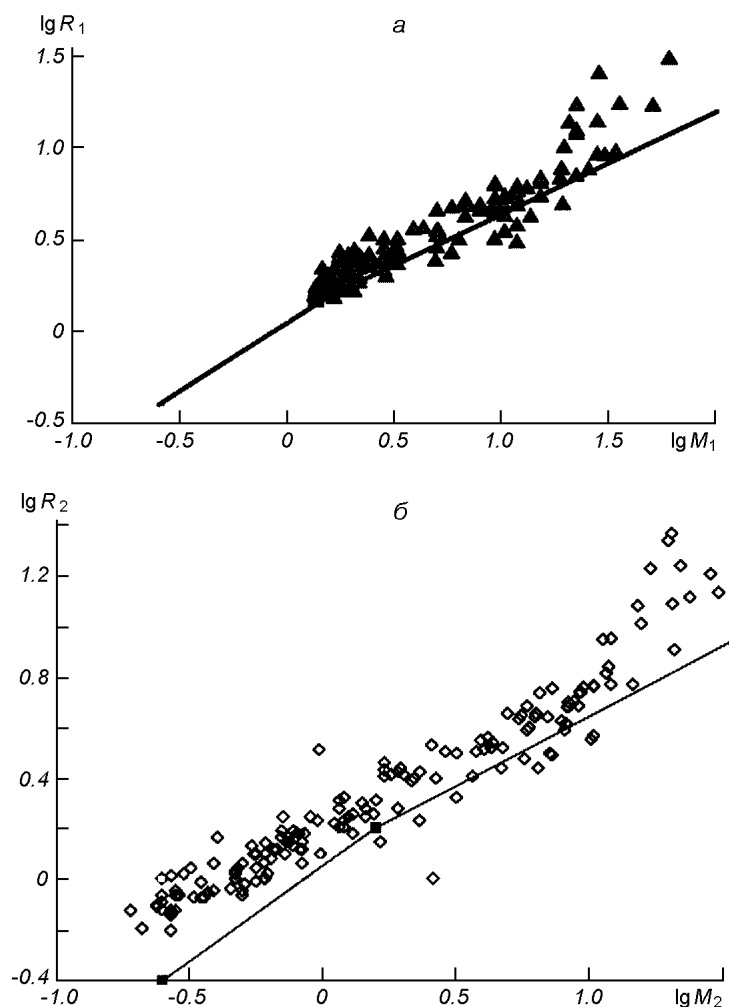


Рис. 4. То же для зависимости масса — радиус

звезд главной последовательности (рис. 4, *a*). Избытки радиусов заметны лишь для небольшой группы массивных систем. Очевидно, эти системы соответствуют той группе проэволюционировавших массивных систем, которые значительно отклоняются от главной последовательности и располагаются правее ГП.

### 3. ЗАВИСИМОСТИ ИЗБЫТКОВ СВЕТИМОСТЕЙ И РАДИУСОВ ОТ МАССЫ И ОТ ОТНОШЕНИЯ МАСС КОМПОНЕНТОВ

Для каждой из трех выделенных нами групп КР-систем были получены зависимости избытков светимостей и радиусов от массы главного компонента и от отношения масс компонентов.

Значения избытков светимостей вычислялись как разность между наблюдаемой светимостью звезды и светимостью, найденной из соотношения масса — светимость (и масса — радиус) для звезд главной последовательности:  $\Delta M_{bol} = M_{bol} - M_{bolGP}$  и  $\Delta \lg R = \lg R - \lg R_{GP}$ .

Оказалось, что главные компоненты всех групп КР-систем не имеют ни заметных избытков светимостей (рис. 5, *a*), ни существенных избытков радиусов (рис. 5, *б*), что указывает на их незначительную эволюцию. Спутники массивных и среднемассивных систем также практически не имеют избытков светимостей и радиусов (рис. 6). В то же время спутники маломассивных систем обнаруживают существенные избытки светимостей и радиусов, причем с уменьшением массы избыток светимости увеличивается

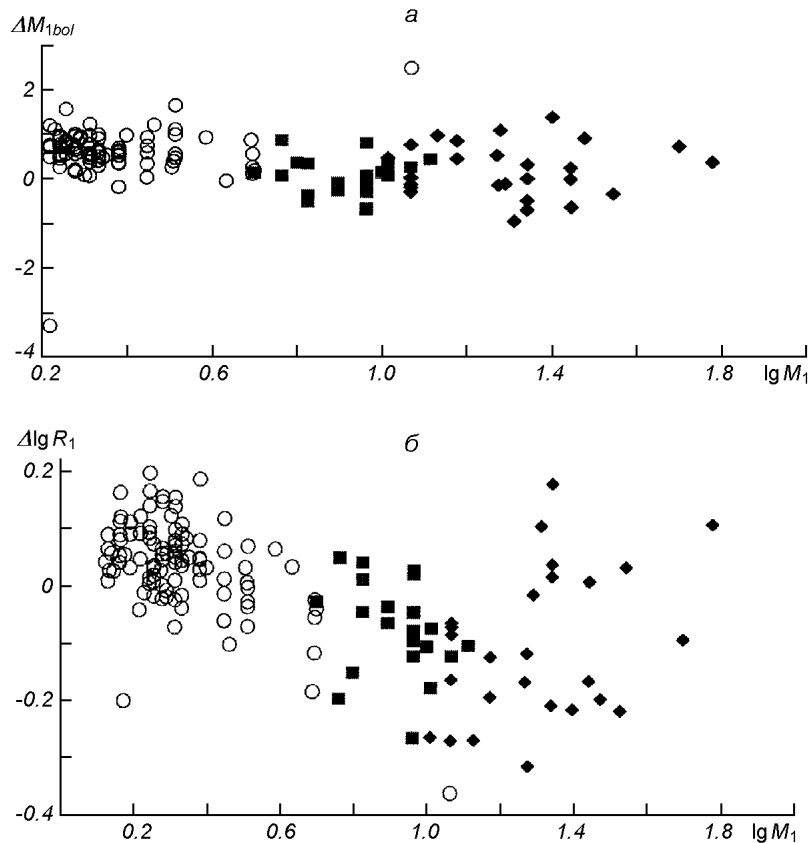


Рис. 5. Зависимость избыток светимости — масса (*a*) и избыток радиуса — масса (*б*) для главных компонентов КР-систем: ромбики — массивные системы, квадратики — среднемассивные системы, кружки — маломассивные системы

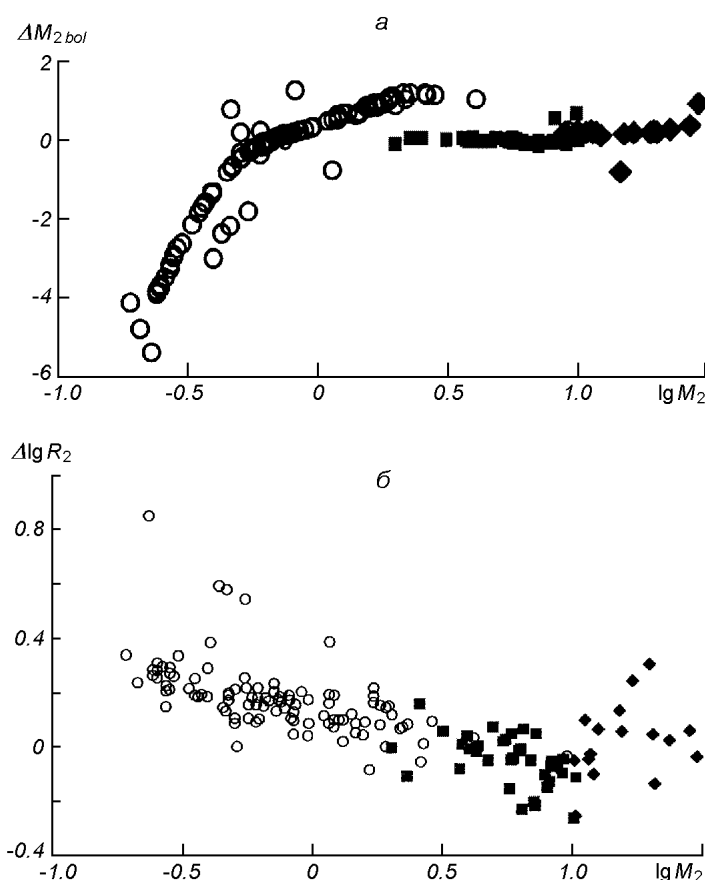


Рис. 6. Зависимости избыток светимости — масса (а) и избыток радиуса — масса (б) для спутников КР-систем: ромбики — массивные системы, квадратики — среднемассивные системы, кружки — маломассивные системы

по квадратичной зависимости  $\Delta M_{2,bol} = -4.5(\lg M_2)^2 + 5.9 \lg M_2 - 1.2$ , а радиуса — по линейной:  $\Delta \lg R_2 = 0.13 - 0.25 M_2$ .

Такая тенденция для маломассивных КР-систем может объясняться «переменной ролей» в них прежде, чем они станут контактными. Об этом свидетельствует и отсутствие избытков радиусов и светимостей у главных компонентов таких систем (так как наблюдаемые сейчас главные компоненты до «перемены ролей» являлись спутниками и принадлежали главной последовательности).

На рис. 7 представлены зависимости избытков светимостей и радиусов от отношения масс компонентов  $q = M_2/M_1$  для спутников маломассивных КР-систем. Значительные избытки светимостей и радиусов наблюдаются для маломассивных систем с  $q < 0.5$ , в то время как для систем с  $q \geq 0.5$  они незначительны. Подобное увеличение избытка радиуса и светимости с уменьшением массы и отношения масс компонентов для спутников маломассивных КР-систем отмечались и ранее [13, 16].

Таким образом, маломассивные КР-системы можно разделить на две группы: 1) системы с  $q < 0.5$ , для которых наблюдаются и значительные избытки радиусов, и существенные избытки светимостей; 2) системы с  $q \geq 0.5$ , не имеющие заметных избытков светимостей и радиусов.

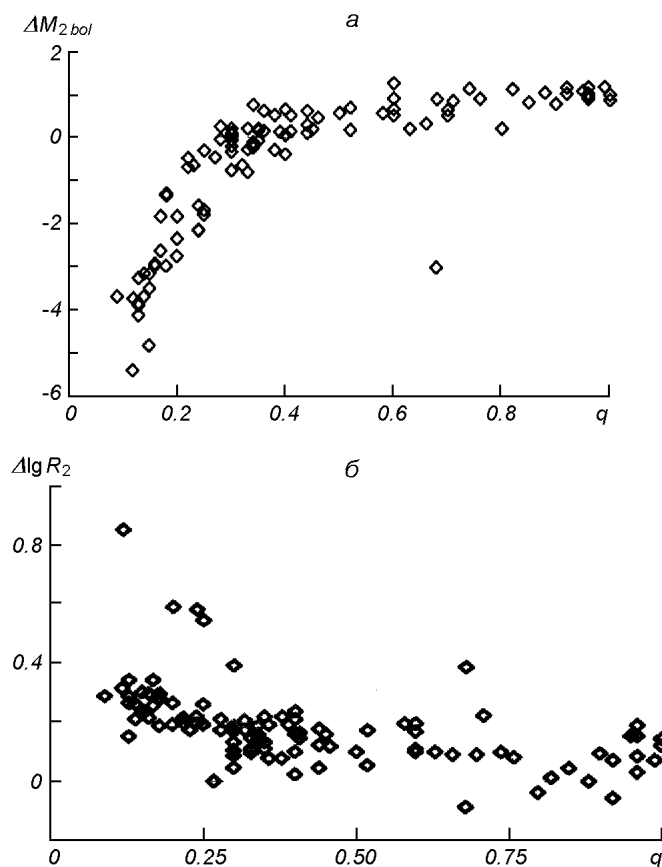


Рис. 7. Зависимости избытка светимости (а) и избытка радиуса (б) от отношения масс для спутников КР-систем: ромбики — массивные системы, квадратики — среднемассивные системы, кружки — маломассивные системы

В маломассивных системах с  $q < 0.5$  главный компонент является звездой главной последовательности, а спутник — субгигантом. Предполагается, что такие системы происходят от короткопериодических разделенных систем главной последовательности. Разделенную систему главной последовательности (РГП-систему) составляют компоненты, являющиеся звездами главной последовательности и не заполняющие свои внутренние критические поверхности (ВКП) [11, 14]. Затем эти системы проходят стадию перемены ролей компонентов и становятся короткопериодическими полуразделенными системами (ПР-системами). Такие ПР-системы ( $P \leq 1.25^d$ ) выделяют в отдельную группу — системы типа R CMa, так как они эволюционируют с большей потерей углового орбитального момента, чем «обычные» полуразделенные системы [13, 15, 17]. Для ПР-систем типа

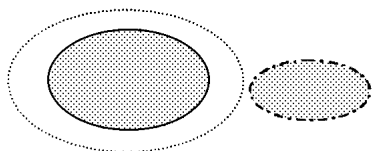


Рис. 8. ПР-системы типа R CMa

R CMa характерно, что размеры главных компонентов, являющихся звездами главной последовательности, больше, чем размеры спутников-субгигантов (рис. 8). Это объясняется малой величиной большой полуоси орбиты  $A$  и малого значения отношения масс  $q$  в системе. В результате



потери орбитального углового момента из-за магнитного звездного ветра от спутника и сокращения периода системы эти звезды эволюционируют в маломассивные КР-системы с отношением масс менее 0.5.

Маломассивные КР-системы с  $q > 0.5$  (вторая группа), вероятно, образовались как контактные, имеющие общую оболочку в пределах эволюции на главной последовательности [8]. Тогда эти системы становятся контактными, минуя стадию процесса «перемены ролей» компонентов и могут являться предшественниками КВ-систем.

В результате все рассматриваемые КР-системы можно разделить на четыре группы:

1) массивные системы, оба компонента которых располагаются вблизи начальной главной последовательности;

2) массивные системы, один или оба компонента которых находятся в пределах конечной главной последовательности;

3) маломассивные системы с  $q < 0.5$ , прошедшие через «перемену ролей» компонентов;

4) маломассивные системы с  $q \geq 0.5$ , не испытавшие «перемены ролей» компонентов.

При этом группа среднемассивных систем, выделенных в результате анализа диаграммы Герцшпрунга—Рассела, была включена в группу массивных систем начальной главной последовательности, так как на полученных зависимостях эти две группы систем ведут себя одинаковым образом.

#### 4. ДИАГРАММА КАРЕТНИКОВА

На рис. 9 изображены положения компонентов КР-систем с  $q < 0.5$ , РГП-систем с периодами  $P < 2^d$  и спектром главного компонента от F2 до A5, ПР-систем типа R CMa с периодами  $P \leq 1.25^d$  на диаграмме Каретникова. Данная диаграмма представляет собой зависимость относительной скорости заполнения главным и вторичным компонентами своих ВКП от степени наполнения их главным компонентом и спутником [6, 7]. Видно, что главные компоненты и спутники короткопериодических ПР-систем типа R CMa располагаются в нижней части диаграммы, где  $R_1/R_{1кр} \leq R_2/R_{2кр}$ , причем спутники уже заполнили свой ВКП ( $R_2/R_{2кр} \geq 1$ ). Для главных компонентов характерна тенденция к заполнению ВКП ( $R_1/R_{1кр} \rightarrow 1$ ). Это свидетельствует о происшедшей в этих системах «перемене ролей» компонентов. Область расположения на диаграмме Каретникова маломассивных КР-систем, испытавших процесс «перемены ролей» компонентов, частично перекрывается с областью расположения на диаграмме ПР-систем типа R CMa. В работе [13] были получены подобные распределения и показано, что область расположения систем типа R CMa ближе к области расположения маломассивных КР-систем на диаграмме Каретникова, чем к области «обычных» ПР-систем, что может являться некоторым подтверждением эволюции систем типа K CMa в маломассивные КР-системы.

#### 5. ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПЛОТНОСТИ ТДС ТИПА КР

Наблюдаемое число КР-систем искажено эффектами наблюдательной селекции и не отражает действительной численности исследуемых систем. Для определения истинной численности КР-систем необходимо ввести поправки, связанные с вероятностью обнаружения КР-систем как затменных переменных звезд. Однако вероятность открытия зависит и от звездной величины системы  $m_v$ . Для слабых звезд эффекты наблюдательной селекции становятся более сложными. Таким образом, для систем с  $m_v$  больше некоторого

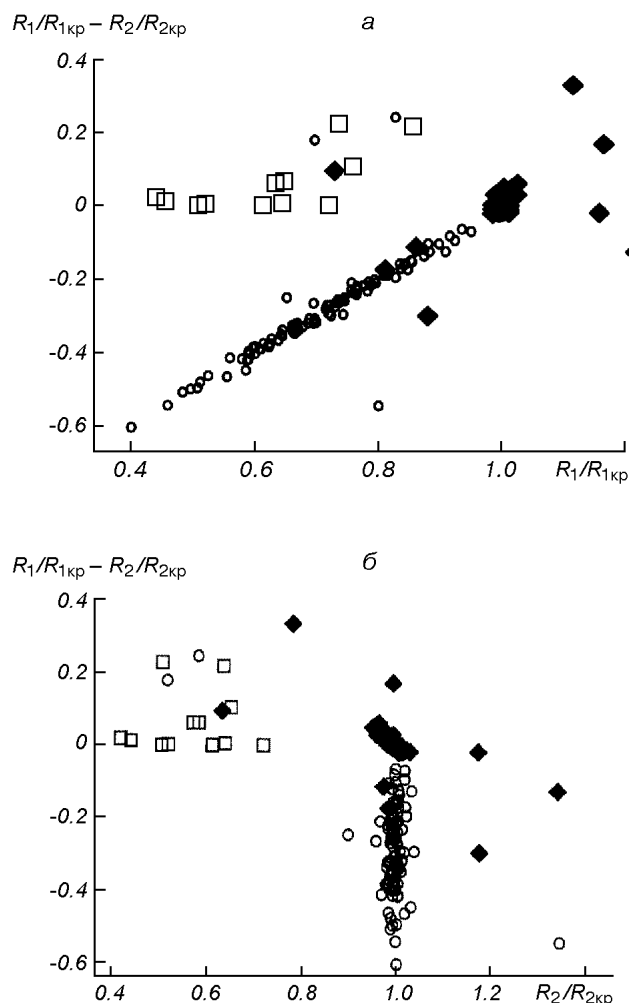
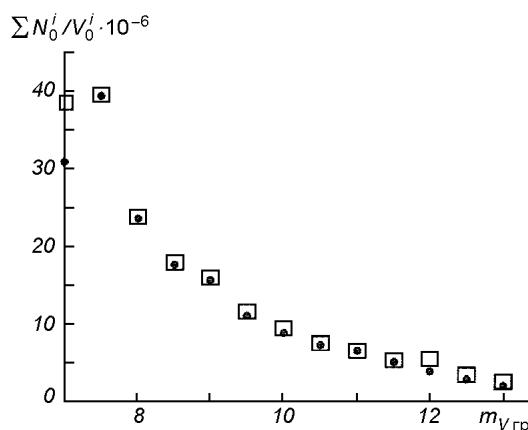


Рис. 9. Диаграмма Каретникова для систем с известным спектром главного компонента: *а* — для главных компонентов, *б* — для спутников. Ромбики — маломассивные КР-системы с  $q < 0.5$ , квадратики — РГП-системы с  $P < 2^d$  и спектром от F2 до A5, кружки — ПР-системы типа К СМа

граничного значения  $m_{\text{гпр}}$  необходимо учитывать неполноту исследуемой выборки.

Вероятность открытия каждой системы была определена в зависимости от массы главного компонента, отношения масс и угла наклона орбиты:  $W_j = W_j(M_1, q, i)$  на основе данных работы [4]. Затем находилась сумма  $N_0^i = \sum (1/W_j)$  в данном интервале масс главного компонента и данного блеска. При этом из рассмотрения исключались системы с  $W_j < 0.001$ , так как при определении столь малых значений могли получиться значения  $N_0^i$ , сильно отличающиеся от действительности. Затем число  $N_0^i$  делилось на объем пространства, в котором наблюдаются КР-системы с данными массами. Объем  $V_i$  оценивался как объем шарового слоя с радиусом  $r_{\text{гп}}$  ( $M_1^i$ ) и толщиной 180 пк, поскольку согласно [5] эффективная полутолщина плоской подсистемы в Галактике, которую образуют ТДС, порядка 90 пк. Расстояние до каждой системы было взято из работы [1], где они вычислялись с учетом индивидуальной величины межзвездного поглощения.

Рис. 10. Зависимость пространственной плотности КР-систем от граничной звездной величины  $m_{Vгр}$ : точки — системы с известным спектром главного компонента, квадратики — все КР-системы



Зная суммарное количество КР-систем в единичном объеме пространства  $\Sigma(N_0/V_0)$ , получена зависимость пространственной плотности КР-систем от звездной величины (рис. 10). Из данной зависимости можно определить значение звездной величины, до которой выборка будет полной. В случае КР-систем  $m_{Vгр} = 7.5^m$ . Для более слабых звезд необходимо учитывать неполноту выборки.

В таблице приведена как наблюдаемая численность КР-систем, принадлежащих каждой из четырех групп, так и исправленная за эффекты наблюдательной селекции. Видно, что среди наблюдаемых КР-систем наиболее многочисленны маломассивные системы с  $q < 0.5$ , т. е. системы, испытавшие процесс перемены ролей компонентов (около 40 % от общего числа КР-систем). Меньше всего наблюдается массивных систем, находящихся на конечной главной последовательности (около 14 %). После учета эффектов наблюдательной селекции доля КР-систем каждой группы значительно изменилась: существенно увеличилась доля КР-систем, прошедших через процесс «перемены ролей» компонентов.

Ранее в работе [3] была оценена численность полуразделенных систем типа R CMa с учетом эффектов наблюдательной селекции. Общее их число составило  $45 \cdot 10^{-6} \text{ пк}^{-3}$ , с известным спектром главного компонента —  $30 \cdot 10^{-6} \text{ пк}^{-3}$ . Сравнивая эти данные со значениями, полученными для маломассивных КР-систем с  $q < 0.5$ , можно сказать, что в процессе

#### Численность КР-систем

	Количество КР-систем в единице объема пространства, $10^6 \text{ пк}^{-3}$			
	Маломассивные системы		Массивные системы $\lg M_1 > 1.2 M_\odot$	
	$q < 0.5$	$q > 0.5$	Конечная главная последовательность	Начальная главная последовательность
Все системы	33.75	5.09	0.05	0.06
38	(88.8 %)	(13.39 %)	(0.13 %)	(0.157 %)
С известным спектром главного компонента	31.4	3	0.03	0.04
35	(89.7 %)	(8.57 %)	$(8.57 \cdot 10^{-2} \%)$	(0.11 %)
	Наблюдаемое количество исследуемых систем			
Все системы	104	79	38	54
275	(37.8 %)	(28.7 %)	(13.8 %)	(19.6 %)
С известным спектром главного компонента	66	31	24	29
163	(44 %)	(20.6 %)	(16 %)	(19.33 %)

эволюции время пребывания звезд в стадии полуразделенных систем типа R CMa и в стадии КР-систем примерно одинаково.

1. *Гайдук С. И.* Исследование распределений двойных звезд в пространстве: Дипл. работа. — Челябинск: Гос. ун.-т, 1990.—53 с.—Машинопись.
2. *Горда С. Ю., Свечников М. А.* Эмпирические зависимости  $L-M$ ,  $R-M$ ,  $M-T_{\text{eff}}$  для звезд главной последовательности компонентов ТДС и звезд малых масс // *Астрон. журн.*—1999.—76, № 8.—С. 598—603.
3. *Еретнова О. В.* Учет эффектов наблюдательной селекции и оценка численности тесных двойных звезд с субгигантами в окрестностях Солнца: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Челябинск, 1991.—172 с.—Машинопись.
4. *Еретнова О. В., Свечников М. А.* Оценка вероятности открытия контактных тесных двойных звезд как затменных переменных // *Астрономо-геодезические исследования: Сб. науч. тр.* — Екатеринбург, 1995.—С. 115—125.
5. *Истомин Л. Ф.* Некоторые статистические исследования тесных двойных систем // *Звездные скопления и двойные системы.* — Свердловск, 1978.—С. 148—154.
6. *Каретников В. Г.* Разделение затменных двойных звезд по степени наполнения полостей Роша // *Астрон. циркуляр.*—1987.—№ 1485.—С. 6—7.
7. *Каретников В. Г., Куценко С. В.* Связь между степенью наполнения полости Роша и свойствами затменных двойных звезд // *Астрон. циркуляр.*—1988.—№ 1528.—С. 11—12.
8. *Масевич А. Г., Тутуков А. В.* Эволюция звезд: теория и наблюдения. — М.: Наука, 1988.—280 с.
9. *Свечников М. А.* Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей тесных двойных звезд. — Екатеринбург, 1969.—271 с.
10. *Свечников М. А.* Каталог орбитальных элементов масс и светимостей тесных двойных звезд. — Иркутск: Изд-во Иркут. ун.-та, 1986.—226 с.
11. *Свечников М. А.* Классификация и физические характеристики затменных переменных звезд: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. — М.: МГУ ГАИШ, 1985.—292 с.—Машинопись.
12. *Свечников М. А., Кузнецова Э. Ф.* Каталог приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд. — Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 1990.—Том 1, 2.
13. *Свечников М. А., Кузнецова Э. Ф., Долгополова М. Г.* Некоторые физические характеристики разделенных двойных систем типа K CMa // *Астрономо-геодезические исследования: Сб. науч. тр.* — Екатеринбург, 1990.—С. 109—117.
14. *Свечников М. А., Снежко Л. И.* Характеристики и эволюция тесных двойных систем. Явления нестационарности и звездная эволюция. — М.: Наука, 1974.—376 с.
15. *Budding E.* Resolving information of Algol systems // *Space Sci. Rev.*—1989.—50, N 1/2.—P. 205—217.
16. *Dryomova G. N., Svechnikov M. A.* Statistical research in evolutionary genetic relationship of DMS-, DW-, KW-, KE-types of double stars // *Odessa Astron. Publs.*—1999.—12.—P. 187—190.
17. *Jben J., Tutukov A. V.* The evolution of low-mass close binaries influenced by the radiation of gravitational waves and by a magnetic stellar wind // *Astrophys. J.*—1984.—284, N 2.—P. 719—744.
18. *Maeder A., Meynet G.* Tables of evolutionary star models from 0.85 to 120  $M_{\odot}$  with overshooting and mass loss // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1988.—76.—P. 411—425.

Поступила в редакцию 14.05.01