

Активность переменных типа Is и ее закономерности

IV. О фотометрических характеристиках некоторых InT-звезд

В.И.Кардополов, Г.К.Филипьев, А.Ф.Шаймиева, Н.А.Шутимова

На основе полученных авторами рядов фотоэлектрических UBVR-наблюдений сопоставлены фотометрические параметры 15 звезд типа InT. Переменные достаточно отчетливо разделились на три подгруппы. Первую из них возглавила RW Aur. В нее вошли три переменные, классифицированные как звезды типа YY Ориона: RW Aur, S CrA и CoD –35°10525. Поскольку изменения фотометрических параметров DG Tau, BM And и RU Lup имеет тот же характер, что и у RW Aur, S CrA и CoD –35°10525, заподозрено, что эти объекты также аналогичны YY Ori. О второй подгруппе можно говорить менее уверенно. В нашем случае ее составили DF Tau, UY Aur и GM Aur, но достаточно хорошо изучена только DF Tau. По степени активности и наличию вспышек высоко-температурного излучения у DF Tau можно предположить, что звезды второй подгруппы эволюционно предшествуют переменным третьей подгруппы. В третью подгруппу вошли три хорошо известных звезды типа T Тельца: сама T Tau, RY Tau и DI Cep. Кроме того, в нее включены BP Tau, CoD –33°10685 и YZ Cep – неправильная переменная типа Isb. У переменных последней подгруппы наметилась некоторая последовательность уменьшения степени активности при переходе от одного объекта к другому. Наибольшая нестационарность зарегистрирована у T Tau и у DI Cep. Самая слабая степень фотометрической активности оказалась у CoD –33°10685. Низка она у RY Tau и у YZ Cep. Кроме того, у CoD –33°10685 спектральные признаки класса T Тельца либо неустойчивы, либо ослаблены (Хербиг и Рао, 1972; Хенайз, 1976), а у YZ Cep они отсутствуют. Совокупность этих фактов позволила пред-варительно заключить, что объекты третьей подгруппы эволюционно близки к звездам пост-T Тельца (Хербиг, 1978).

Some Regularities of Is Variable Stars Activity

IV. On the Photometric Features of Some InT Stars

by V.I.Kardopolov, G.K. Filipjev, A.F.Shaimieva, N.A.Shutiomova

The photometric features of 15 InT stars are compared by means of authors' UBVR data. The investigated stars have formed three distinct groups. RW Aur heads the first of them. The three variable stars of this group (RW Aur, S CrA and CoD–35°10525) are known as the YY Orionis

stars. Since the photometric features of DG Tau, BM And and RU Lup are the same as those of RW Aur, S CrA and CoD-35°10525 we may expect that these objects are similar to YY Ori. The second group hasn't so well distinguished. In our case DF Tau, UY Aur and GM Aur compose this group but only DF Tau has investigated well enough. The second group variable stars are more active than the objects of the third group. The degree of activity and the existence of high temperature radiation flares in DF Tau allow us to suppose that the stars of the second group precede evolutionary to the third group stars. The three well known T Tauri stars (T Tau, RY Tau and DI Cep) are included to the third group. Besides, BP Tau, CoD-33°10685 and Isb type irregular variable YZ Cep were also included to this group. There is the some subsequence of the photometric activity decrease from one object to another in the last group. In this group T Tau and DI Cep show the most variability. The least degree of the photometric activity is observed in CoD-33°10685. The activity of RY Tau and YZ Cep is also lower. The T Tauri spectral type features are weak or unstable in CoD-33°10685 (Herbig and Rao, 1972; Henize, 1976) and are absent in YZ Cep. This facts allow us to conclude preliminary that the third group objects are possibly close to the post-T Tauri stars (Herbig, 1978).

Введение.

Звезды типа Т Тельца (InT) занимают особое место среди неправильных переменных. Выделяемые из числа орионовых переменных по чисто спектральным признакам (Джой, 1945, 1949; Хербиг, 1952; Холопов, 1981a, 1983), они образуют физически достаточно однородную группу, входящую в совокупность объектов, не закончивших по общему признанию стадию становления на главную последовательность (Хербиг, 1962; Холопов, 1970, 1981b; Петров, 1977; Имхофф, 1982). К настоящему времени внутри класса переменных типа Т Тельца намечена дифференциация по относительному возрасту. Другими словами, предпринимаются попытки детализации уже существующей (Холопов, 1970) эволюционной последовательности экстремально молодых объектов. Уокер (1972), например, обратил внимание, что у некоторых линий в спектрах ряда InT-переменных иногда появляется абсорбционный компонент, смещенный в красную сторону. Подавляющее большинство этих звезд, выделенных в подгруппу YY Ориона, обладает значительными ультрафиолетовыми избытками. Разрабатывается концепция, согласно которой переменные типа YY Ориона являются прото-звездами, еще не завершившими гидродинамическую фазу своей эволюции (Берту, Йорке, 1982). С другой стороны, Хербиг (1978) рассмотрел возможность обнаружения объектов, уже прошедших или заканчивающих стадию Т Тельца — звезд пост-Т Тельца. По обоснованным критериям выявлено несколько кандидатов предполагаемого подкласс-

са (Хербиг, 1978). Мундт и Бастиан (1979) показали, что переменные типа Т Тельца по фотометрическим параметрам разделяются на две "субгруппировки", что, вероятно, также обусловлено эволюционными эффектами.

Почти универсальной особенностью звезд Т Тельца считается их неправильная переменность. В поисках закономерностей в разное время был предложен ряд способов классификации их кривых блеска. Сущность этих способов рассмотрена в обзорных работах Холопова (1970) и Петрова (1977). Последняя попытка предпринята, по-видимому, Г.В. Зайцевой. Обнаруженные ею закономерности (Петров, 1977) выявлены из анализа многоцветных фотоэлектрических наблюдений.

Множество классификаций свидетельствует о том, что поведение яркости переменных типа InT изучено недостаточно полно. Кривые блеска звезд Т Тельца согласно имеющимся данным по характеру разнообразны. Кроме того, как впервые отметил Хоффмейстер (1949), периоды активности этих объектов могут сменяться периодами относительного спокойствия, что усугубляет трудности при попытке систематизации. Поэтому для выявления закономерностей, если они существуют, требуются продолжительные ряды. Многолетние наблюдения в ряде случаев достигли цели — накопленные данные позволили заподозрить либо установить у некоторых звезд Т Тельца наличие циклических составляющих (например, Цесевич, Драгомирецкая, 1967; Зайцева, Курочкин, 1980). В настоящей работе на основе полученных авторами рядов фотоэлектрической UBVR фотометрии проведено сопоставление между собой некоторых звезд типа Т Тельца.

Кривые блеска и изменения показателей цвета.

Обоснование программы непрерывных многоцветных фотоэлектрических наблюдений дано в части I (Кардополов, Филиппев, 1985а). Результаты, полученные для обсуждаемых объектов в ходе ее выполнения, представлены в работах Кардополова и Филиппева (1985б) и Шаймиевой и Шутековой (1985). Наиболее плотные участки кривых блеска в лучах V для исследуемых звезд проиллюстрированы на рис. 1. Отрезки между JD 2443690 и JD 2444055 для S CrA заимствованы из работы Кардополова и Филиппева (1981), а в случае DF Tau использованы также опубликованные материалы Зайцевой и Лютого (1976) — светлые кружки и Шевченко и Шутековой (1981) — зачерненные треугольники. Подборку на рис. 1а составляют переменные, обладающие значительной амплитудой в V и демонстрирующие достаточно быстрые колебания блеска. Последние накладываются на хорошо заметные медленные изменения. Исключением в этом смысле является VM And — медленная составляющая по нашим данным у нее не прослеживается. На первый взгляд UY Aur и DF Tau (рис. 1б) следовало бы причислить к группе объектов, представленных на рис. 1а. Однако, как будет видно далее, по характеру изменений показателей цвета они сущест-

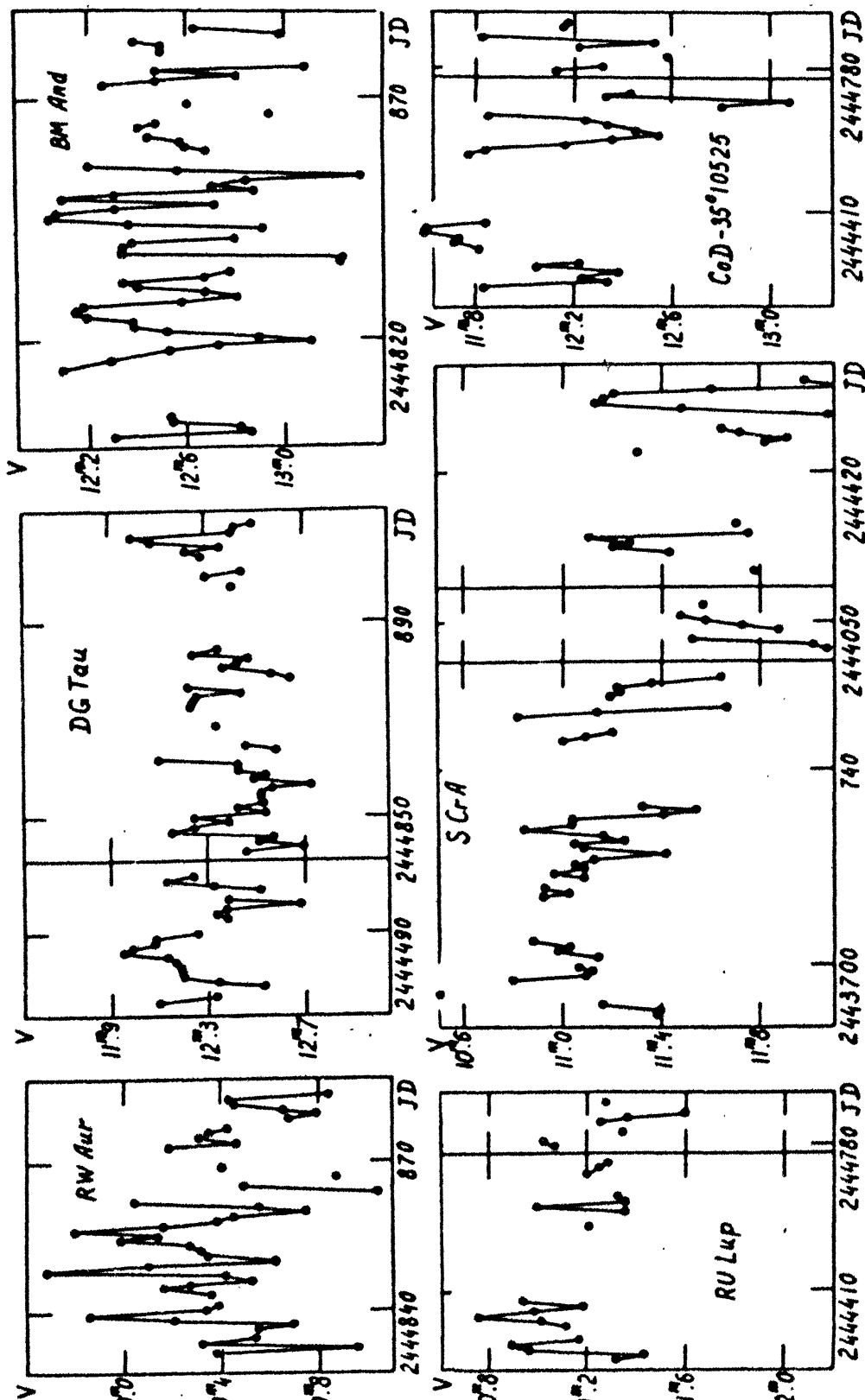


Рис.1а. Наиболее плотно наблюдаемые участки кривых блеска в системе V группы переменных, отмечены крестами. Тельца и обладающие высокой степенью фотометрической активносью.

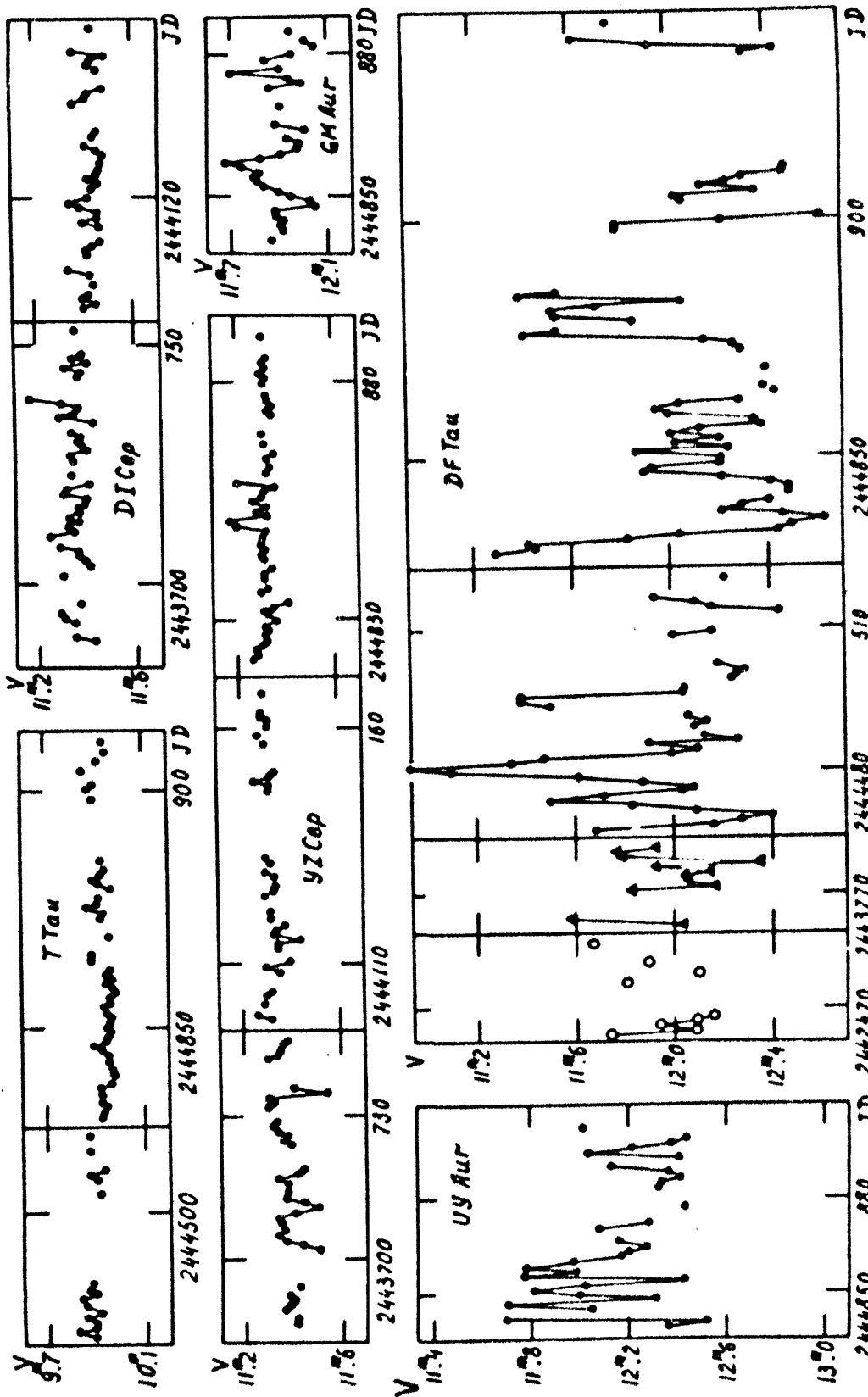


Рис. 16. Примеры InT-звезд, наблюдаемых группой приборов, расположенных в обсерватории.

венно отличаются, например, от RW Aur или от S CrA. В сравнении с предыдущими объектами T Tau и DI Ser в фотометрической системе V малоактивны. Медленные изменения у этих двух звезд видны хорошо, но пределы их в рассматриваемых промежутках времени невелики. Амплитуды мелкомасштабных флуктуаций также не превышают нескольких десятых долей звездной величины. По степени активности GM Aur представляет собой некоторое промежуточное звено. YZ Ser не отнесена к типу InT, но рассматривается в настоящей работе, поскольку по фотометрическому поведению она похожа на T Tau и DI Ser. Таким образом, предварительно можно заключить, что некоторая дифференциация переменных типа T Тельца намечается уже по их кривым блеска.

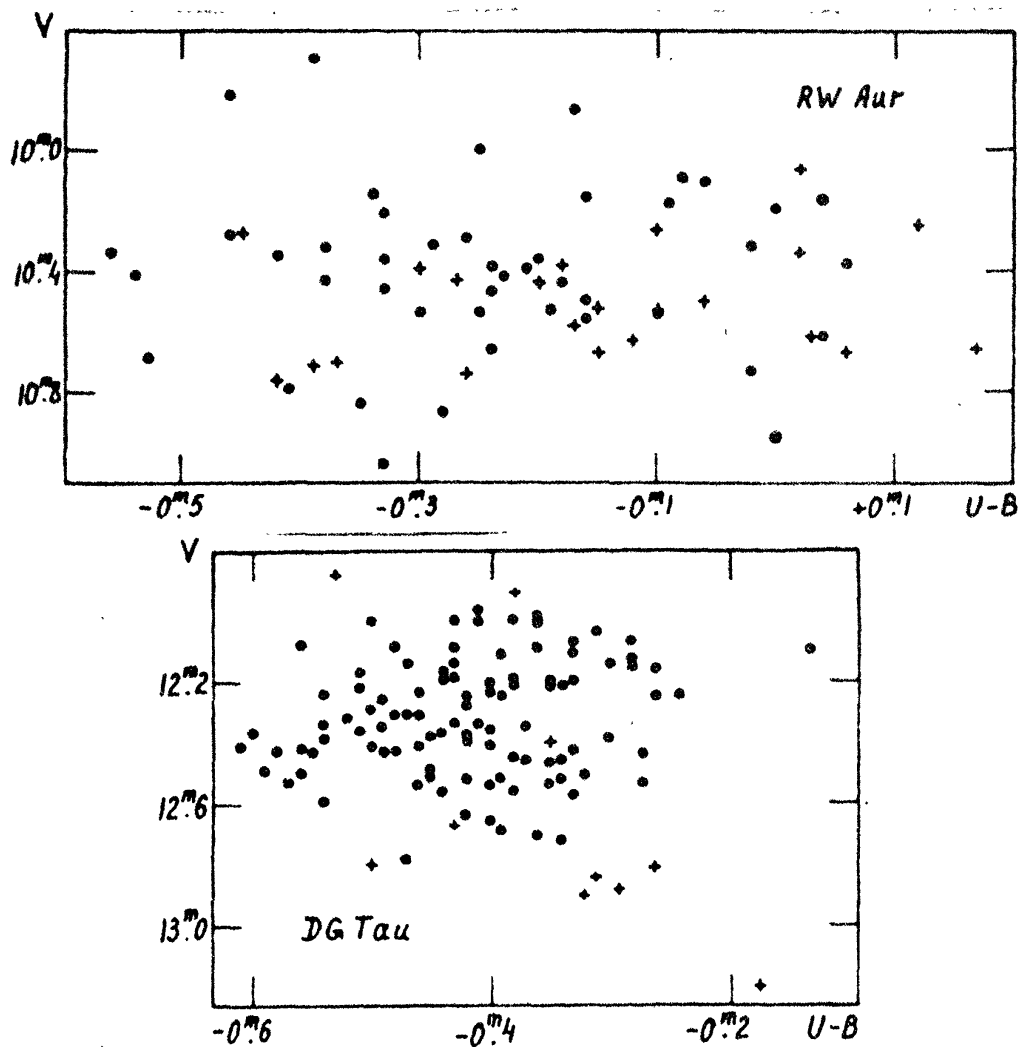


Рис. 2а. Диаграммы $V-(U-B)$ для RW Aur и DG Tau. Прямыми крестиками нанесены наблюдения Куана (1976).

Характер изменений показателей цвета в зависимости от величины V первого набора объектов (рис. 1а) можно проследить на рис. 2.

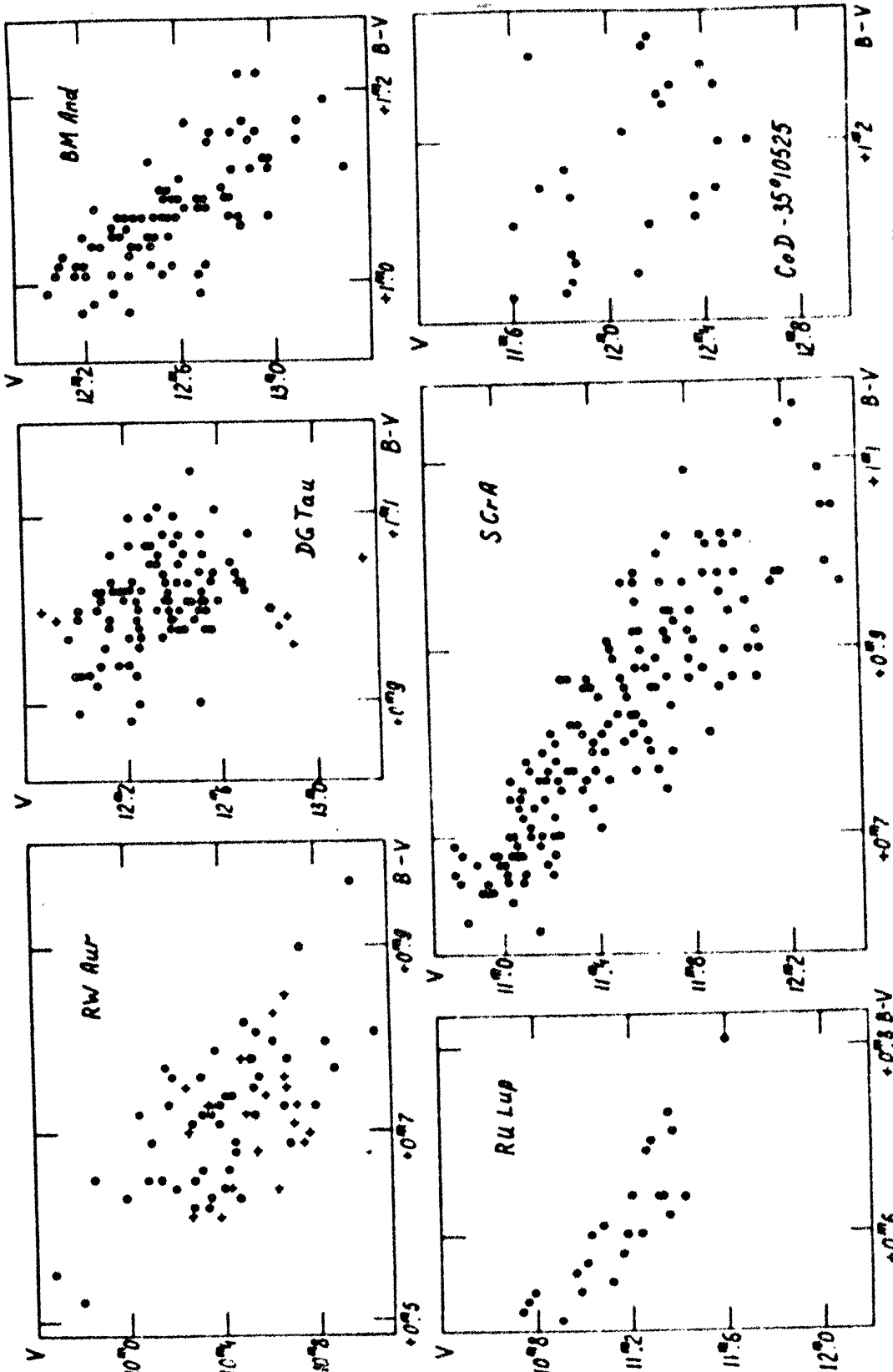


Рис. 26. Зависимость показателя $B-V$ от блеска в системе V для первого набора переменных. Крестик — море, что и на рис. 3а.

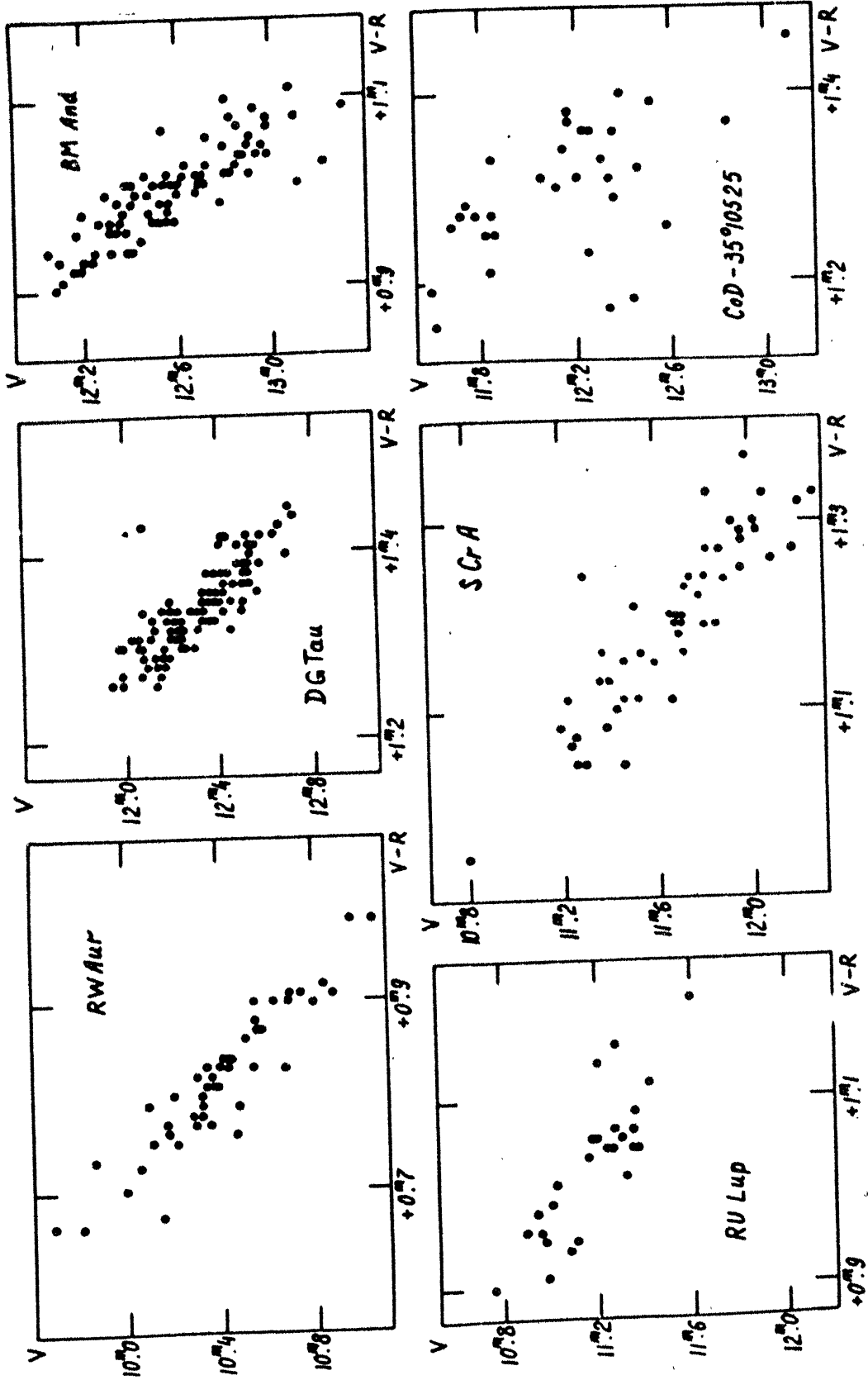


Рис. 26. Ход V-R от V для звездных скоплений.

Наблюдения в фильтре U проведены только для RW Aur и DG Tau. Показатель цвета U-B в случае этих двух звезд ведет себя произвольным образом — корреляция на рис. 2а отсутствует. При любом выбранном уровне блеска разброс значений U-B у RW Aur достигает 0^m7 , а у DG Tau доходит до 0^m6 , что далеко выходит за пределы возможных ошибок измерений. На графиках V-(B-V) уже наблюдается заметная упорядоченность (рис. 2б). У BM And, RU Lup и S CrA зависимость прослеживается достаточно отчетливо. Намечается она у RW Aur. Цветовые диаграммы выполнены в едином масштабе и можно говорить о некоторых различиях в крутизне наклона у этих звезд (рис. 2б). Наиболее детерминировано поведение V-R — дисперсия точек на рис. 2в значительно меньше, чем на рис. 2б. Сохраняются различия в степени наклона. Причем, крайние значения углов наблюдаются на диаграммах, построенных для BM And и RU Lup. Ход V-R у переменной CoD -35° 10525 = GQ Lup, если и прослеживается, то не очень отчетливо. Разброс точек при переходе от показателя цвета B-V к показателю V-R уменьшился у звезды в значительно меньшей мере, чем, например, у RW Aur или у DG Tau. Однако и в этом случае угол наклона зависимости V-(V-R) имеет, по-видимому, ту же характерную величину, что и у других переменных рассматриваемого набора.

Результаты сопоставления цветовых диаграмм на рис. 2 можно суммировать в следующих пунктах.

1. RW Aur и DG Tau, как и большинство объектов типа InT, обладают высокой нестационарностью в ультрафиолетовом диапазоне. Корреляция между показателем цвета U-B и блеском в фильтре V у этих звезд отсутствует. Сравнивая поведение U-B с B-V и V-R для RW Aur и DG Tau (рис. 2), логично ожидать, что отсутствие корреляции U-B от V будет наблюдаться и у BM And, RU Lup, S CrA и CoD -35° 10525.

2. При переходе в длинноволновую область спектра активность рассмотренных переменных уменьшается. Но степень упорядоченности при переходе от U-B к V-B у разных звезд не одинакова.

3. Можно считать, что крутизна зависимостей показателей цвета от блеска в V для этих звезд, в общем-то, одна и та же. Некоторая дисперсия углов наклона обусловлена, вероятнее всего, индивидуальными особенностями активности отдельных объектов. Правомочность пункта 3 будет более очевидна после анализа результатов наблюдений других переменных типа T Тельца.

Соотношения между цветами и блеском в V InT звезд, отрезки кривых блеска которых приведены на рис. 1б, иллюстрирует рис. 3. При его построении привлечены материалы, опубликованные в работах Зайцевой и Лютого (1976), Куана (1976), Гринина и др. (1980), Шевченко и Шутековой (1981). Из сопоставления цветовых диаграмм для DF Tau и UY Aur с одной стороны и для уже рассмотренных переменных с другой видны следующие различия.

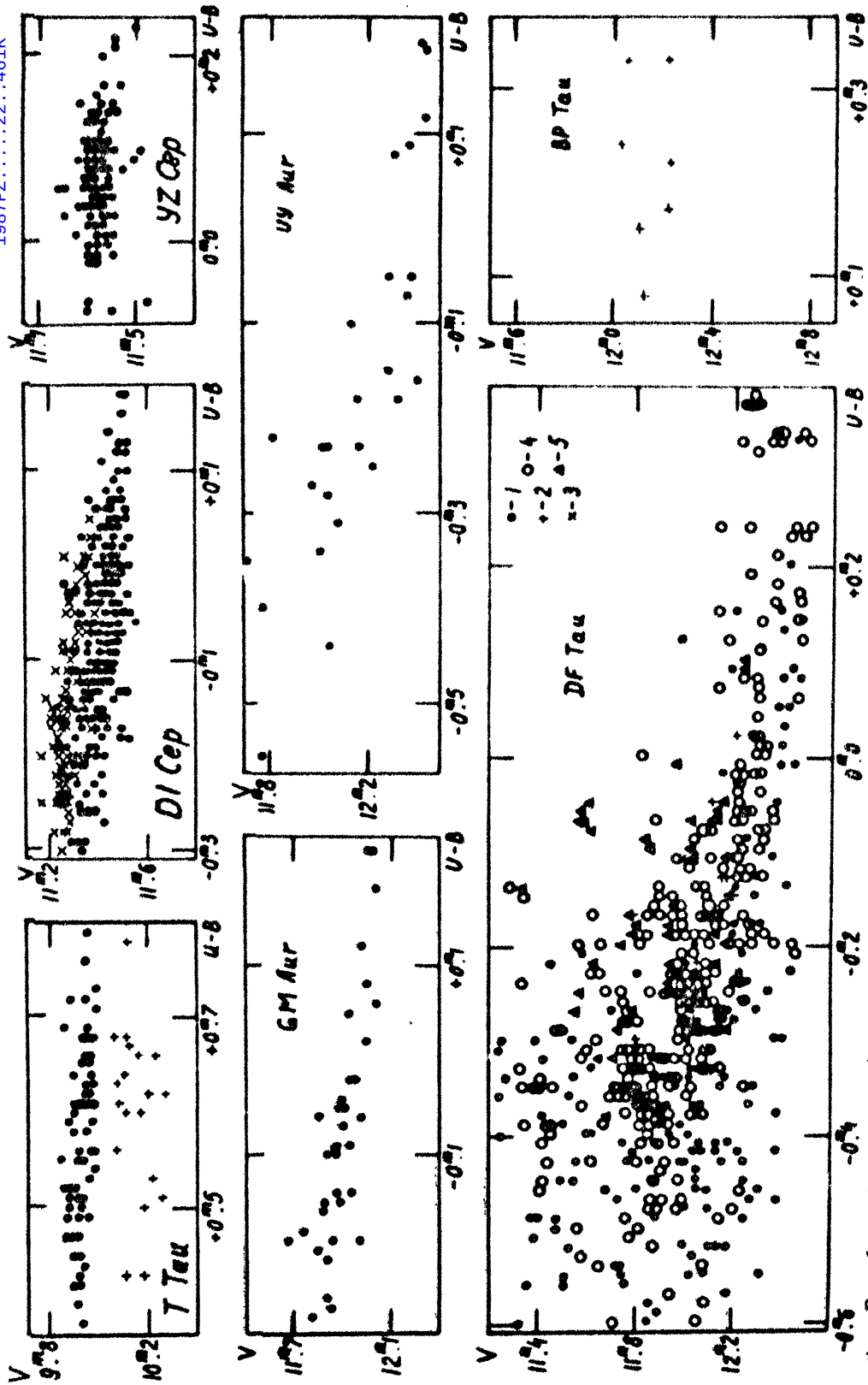


Рис.3а. Графики $V-(U-B)$ для переменных типа $\ln T$, кривые блеска которых приведены на рис.16. Обозначения: 1 — наблюдения астероидов, 2 — данные Куана (1976), 3 — материалы работы Гринина и др. (1980), 4 — измерения Зайцевой и Лютого (1976), результаты Евченко и Жуковой (1981).

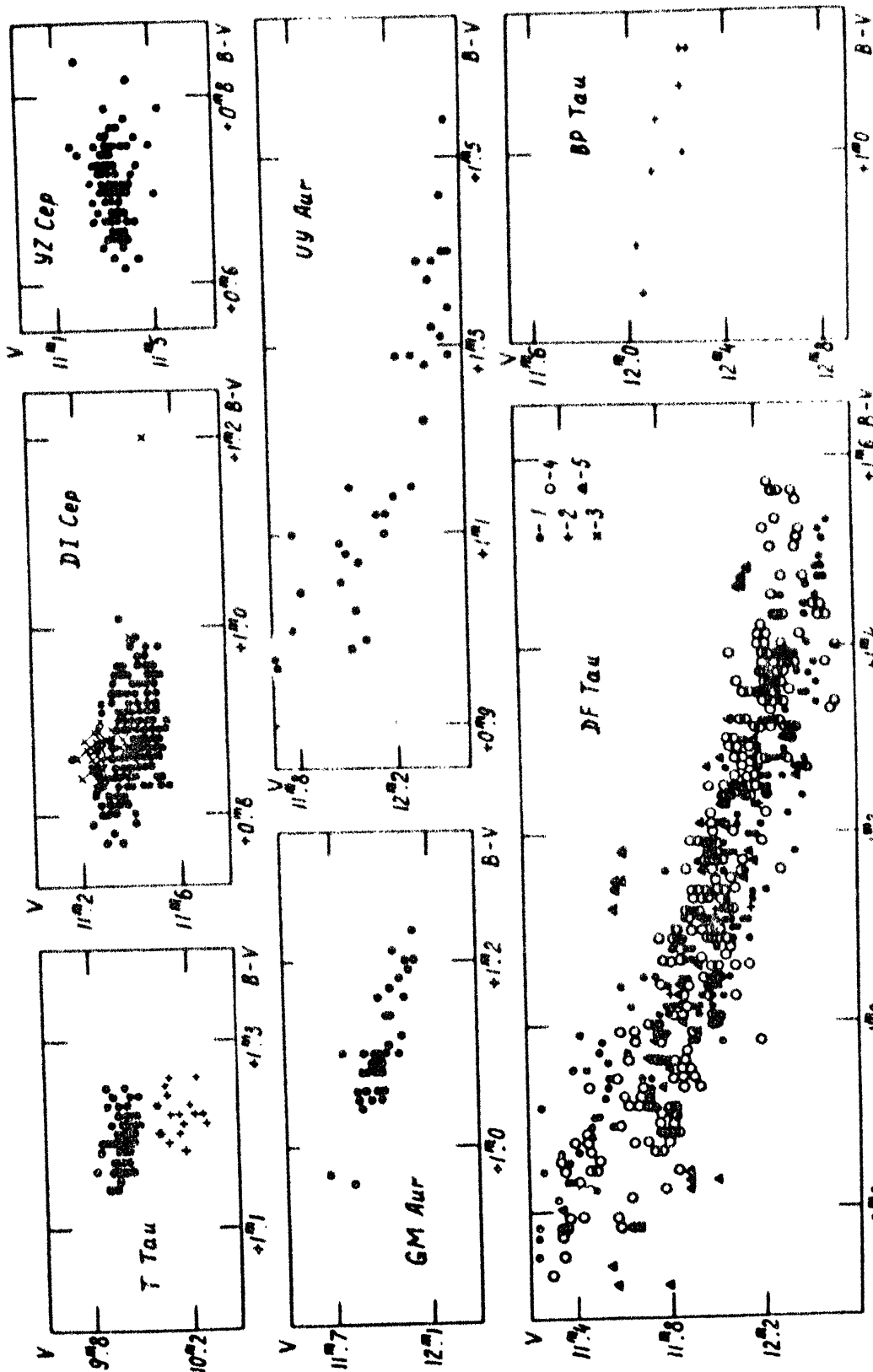


Рис.36. Зависимость $B-V$ от V для второго набора объектов. Обозначения см. рис. 35

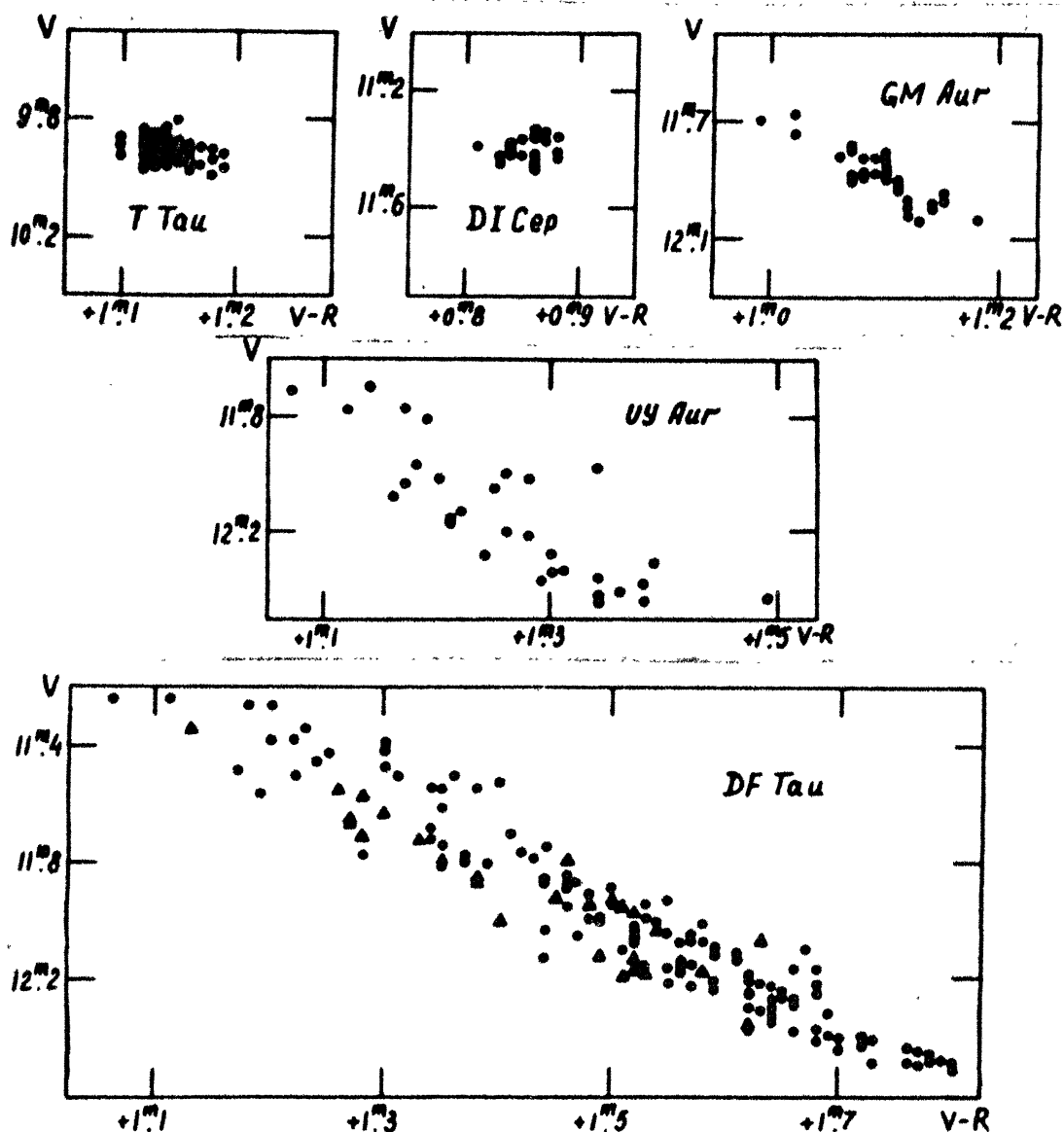


Рис.36. Соотношения между блеском в фильтре V и показателем цвета V-R для некоторых звезд второй выборки.

1. У DF Tau и UY Aur достаточно отчетливо прослеживается зависимость U-B от V.

2. Углы наклона на графиках V-(B-V) и V-(V-R) рис.36,в заметно меньше, чем у первого набора объектов (рис. 26, в).

3. В случае DF Tau и UY Aur имеет место нелинейность в ходе U-B, B-V и V-R от V. Нелинейность наилучшим образом проявляется у UY Aur.

Исходя из этого, мы не можем причислить DF Tau и UY Aur к первому рассмотренному набору звезд.

Масштаб явлений, зарегистрированных в случае GM Aur, значительно меньше, чем у RW Aur или у DF Aur (рис. 1). По характеру из-

менений показателей цвета звезда явно не относится к переменным первого набора (ср. рис. 2, 3). В то же время, если взять зависимости $V-(B-V)$ и $V-(V-R)$, у GM Aur наблюдаются некоторые элементы сходства с DF Tau и UY Aur (например, в величинах углов наклона цветовых диаграмм). Но чтобы окончательно решить вопрос о том, следует ли относить GM Aur к активности вида DF Tau, необходимо дальнейшее накопление материала для этой переменной и поиск других аналогичных объектов.

Из числа InT-звезд с относительно слабой активностью в фотометрической системе V авторы наблюдали T Tau, DI Cep, RY Tau и CoD-33°10685. Не исключено, что RY Tau принадлежит к затменным системам (Нурманова, 1982). CoD-33°10685 изучена слабо. Если она и меняет блеск, то в очень небольших пределах (Кардолов, Филиппов, 1985б). Поэтому последние две звезды рассматриваются особо.

В случае T Tau данные Куана (1976) — крестики и авторов — точки разделились (рис. 3а, б). Известно, что T Tau обладает противоположными медленными колебаниями (Зайцева, 1978, 1980). В последние наших измерений звезда была вблизи максимума. Куан (1976) наблюдает ее в периоды пониженного блеска. Отсутствие промежуточных яркостей T Tau в рассматриваемых рядах — причина разделения точек и прямых крестиков на рис. 3а, б. В целом вид диаграммы $V-(B-V)$ на рис. 3б может навести на мысль, что у T Tau намечается примерно та же крутизна, что и у переменных RW Aur, S CrA и т.д. Однако многолетний фотоэлектрический материал Зайцевой (1976) не подтверждает это предположение (рис. 4). Одна из замеченных особенностей большинства звезд типа T Тельца (если ограничиться только видимым диапазоном) — возрастание амплитуды изменений яркости к коротковолновой области спектра. У самой T Tau упомянутая закономерность по имеющимся фотоэлектрическим измерениям прослеживается отчетливо.

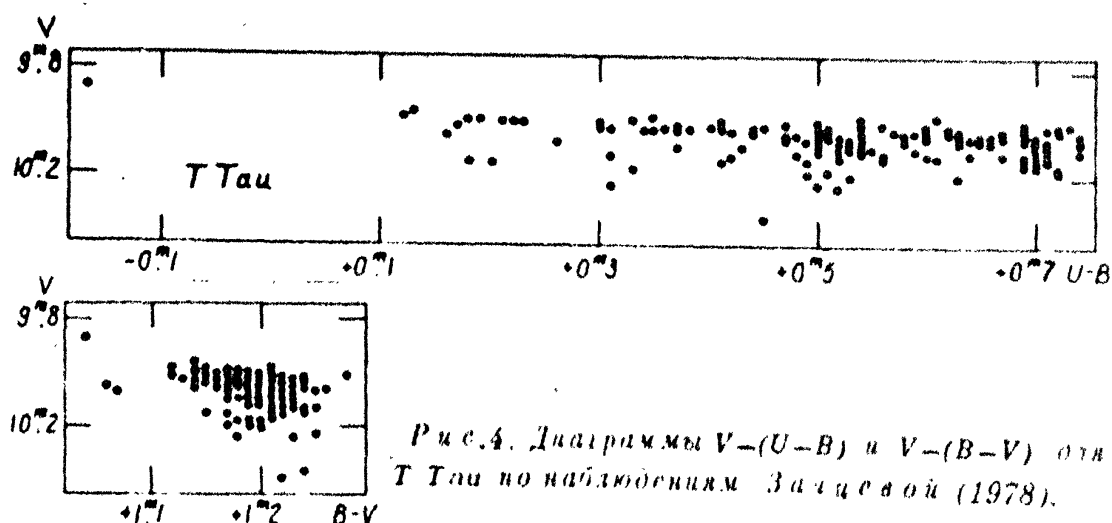


Рис. 4. Диаграммы $V-(U-B)$ и $V-(B-V)$ от T Tau по наблюдениям Зайцевой (1978).

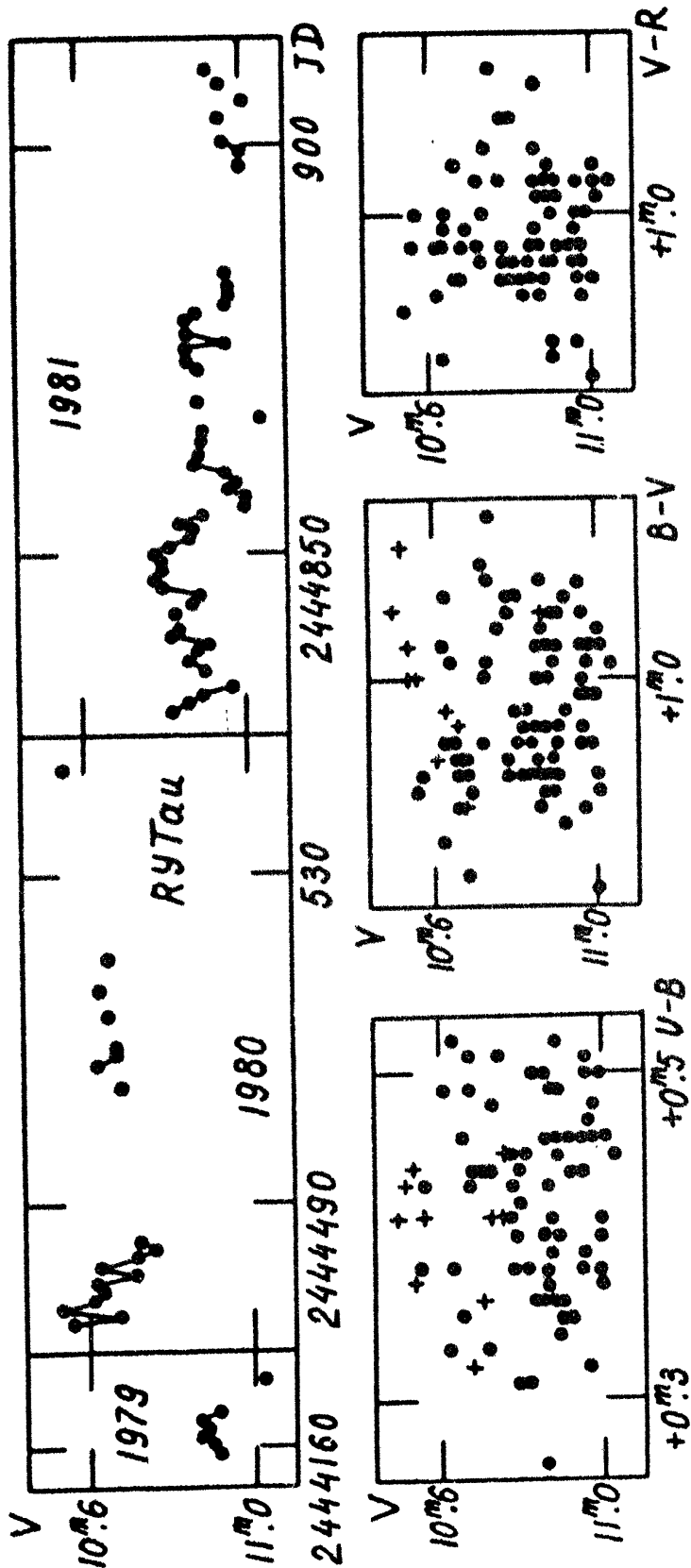


Рис. 5а. Наиболее плотно наблюдаемые участки кривой блеска в соотношениях между показателями цвета и яркостью в фильтре V для переменной типа *Int* RY Tau. Точки — измерения автором, кресты — наблюдения Куан (1976).

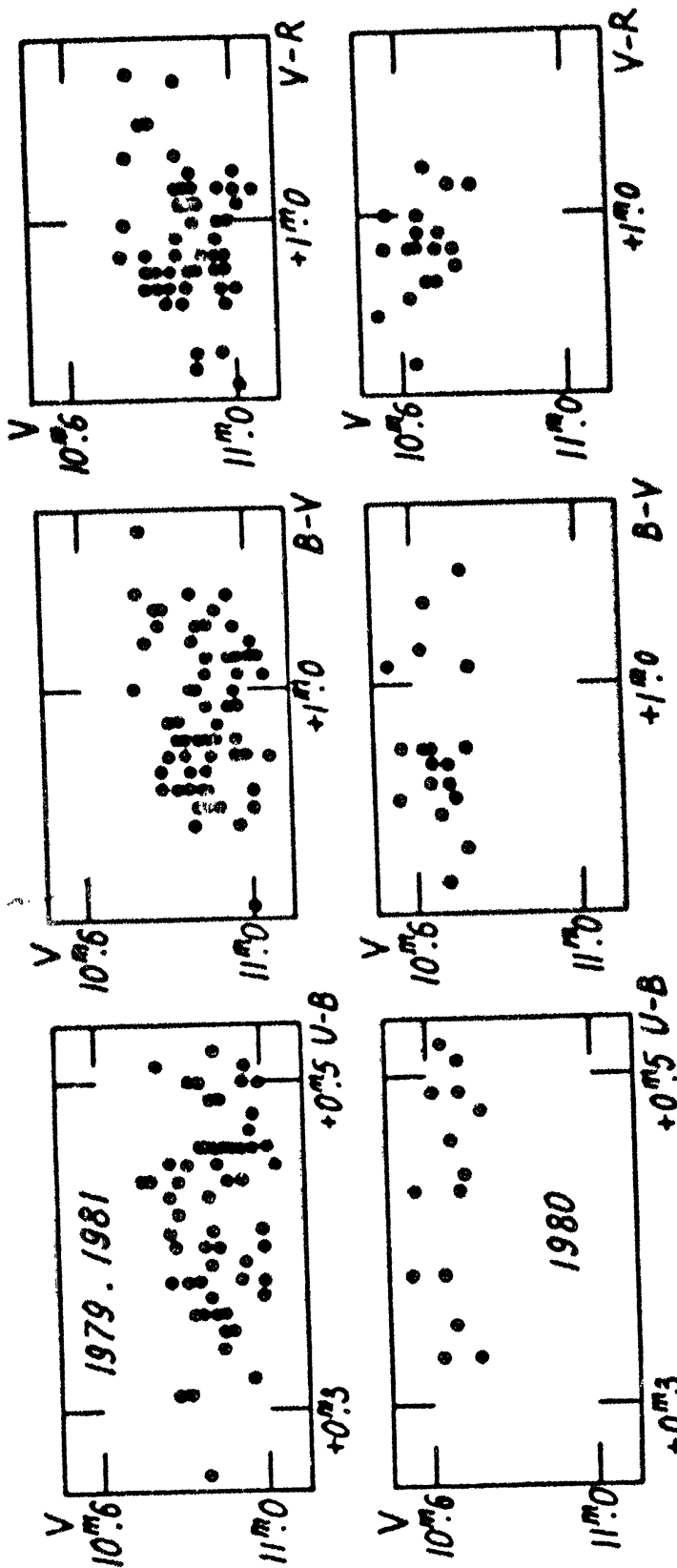


Рис. 56. Вн0, усреднённый индекс яркости $V-(U-B)$, $V-(B-V)$ и $V-(V-R)$ с учётом RY Tau, если проведём разделение данных по сезонам наблюдений.

Изменения $U-B$ (порой значительные) и $B-V$ зачастую не сопровождаются сколько-нибудь заметными колебаниями блеска в V . В итоге в выбранном масштабе наблюдения на диаграмме $V-(U-B)$ для T Tau располагаются в некоторой полосе, слегка наклоненной к оси абсцисс (рис. 3а, 4). Зависимость $B-V$ от V на рис. 3б (если исключить малочисленные наблюдения Куана (1976)), и на рис. 4 также имеет тенденцию к небольшому наклону. То же имеет место и в случае диаграммы $V-R$ от V (рис. 3в). Таким образом, в среднем уменьшение блеска T Tau сопровождается ее покраснением.

Теми же особенностями, что и T Tau, обладает DI Сер. А именно: наличие медленных колебаний и быстрых флуктуаций яркости (рис. 1б); рост амплитуды к коротковолновому диапазону; значительные изменения $U-B$ и $B-V$, не сопровождающиеся заметными колебаниями в V ; присутствие небольшого наклона у зависимостей $U-B$ и $B-V$ от V (рис. 3а, б). Отметим, что измерения DI Сер в фильтре R немногочисленны (табл. 1). Поэтому диаграмма $V-(V-R)$ для нее (рис. 3в) может служить лишь иллюстрацией факта уменьшения амплитуды при переходе от показателя цвета $U-B$ к показателю $V-R$.

BP Tau (рис. 3а, б) взята, чтобы расширить круг анализируемых объектов. Результаты UBV -измерений переменной в 1973–75 гг. опубликованы в работе Куана (1976). Кривая блеска звезды не приведена, поскольку разрозненные наблюдения не обладают той наглядностью, как плотные непрерывные ряды. Соотношения $U-B$ и $B-V$ в зависимости от V , воспроизведенные на рис. 3а, б по данным Куана (1976), свидетельствуют, что по характеру активности BP Tau следует, скорее всего, присоединить к T Tau и DI Сер.

Наблюдения Isb -переменной YZ Сер в течение четырех сезонов (Кардополов, Филиппов, 1985б) показали, что эта звезда, как T Tau и DI Сер, демонстрирует медленные волнообразные колебания блеска (рис. 1б). Кроме того, у нее можно отметить периоды затишья и несколько более бурной активности. По разности амплитуд в $U-B$ и в $B-V$ YZ Сер занимает промежуточное положение между BP Tau с одной стороны и T Tau и DI Сер с другой (рис. 3а, б). Полоса, которую образуют наблюдения звезды на диаграмме $V-(U-B)$, практически параллельна оси абсцисс. Зависимость $B-V$ от V для YZ Сер имеет небольшой, но в отличие от T Tau, DI Сер и BP Tau, положительный наклон. Обратная зависимость (уменьшение амплитуды к синей области спектра) иногда отмечалась у InT -переменной RY Tau (Венцель, 1970; Зайцева, 1982). По мнению авторов характер поведения фотометрических параметров YZ Сер позволяет рассматривать ее в совокупности с T Tau, DI Сер и BP Tau.

RY Tau — одна из интенсивно изучаемых переменных типа InT . Амплитуда ее изменений блеска доходит до $1^m.5$ (Венцель, 1970; Зайцева, 1968, 1982). Не исключено, что медленные колебания блеска переменной происходят циклически (Зайцева, Курочкин, 1980). Особен-

ностью RY Tau является видимое отсутствие зависимостей на диаграммах $V-(U-B)$ и $V-(B-V)$. Поведение цветовых характеристик этой переменной подробно исследовала Зайцева (1982) и пришла к выводу, что в случае RY Tau оно не описывается единым законом. Картина изменений показателей цвета звезды сложна, что по мнению Зайцевой (1982) и является причиной большого разброса точек на графиках $U-B$ от V и $B-V$ от V . Авторы наблюдали RY Tau в течение трех сезонов (Кардополов, Филиппьев, 1985б). Отрезки кривой блеска переменной по этим измерениям представлены на рис. 5а. Активность RY Tau в V заметно выше, чем, например, у T Tau или у DI Сер в те же сезоны (ср. рис. 1б и 5а). При сопоставлении показателей цвета с блеском закономерностей не обнаруживается. Видно лишь небольшое уменьшение амплитуды при переходе от $U-B$ к $V-R$ (рис. 5а). Яркость RY Tau в 1980 г. в фильтре V в среднем была выше, чем в периоды наблюдений 1979 г. и 1981 г.

Существует вероятность, что RY Tau дополнительно обладает еще одним механизмом переменности — относится к числу затменных систем (Нурманова, 1982). Поэтому представляется логичным рассмотреть цветовые диаграммы для разных средних уровней блеска звезды (по сезонам). На рис. 5б показан ход $U-B$, $B-V$ и $V-R$ от V в 1979 г. и в 1981 г. и отдельно в 1980 г. Диаграммы 1980 г. идентичны аналогичным зависимостям для T Tau, DI Сер, BP Tau и YZ Сер (рис. 3). Закономерность по данным 1979 г. и 1981 г. менее отчетлива. Одна из причин этого состоит в том, что в конце сезона 1981 г. яркость RY Tau начала возрастать (Кардополов, Филиппьев, 1985б), т.е. разделение по уровню блеска произошло недостаточно строго. О тенденции к вуалированию соотношений между показателями цвета и блеском говорилось выше. Но наблюдения Куана (1976) и авторов в случае T Tau разделяет промежуток в семь лет. Характерное время медленных изменений RY Tau меньше, чем у T Tau (рис. 1б, 5а). По этой причине эффект "замывания" у нее может проявиться на сравнительно коротком интервале (в нашем случае в течение 1981 года). Обусловлен он также большей амплитудой медленных изменений блеска звезды. Таким образом, можно предположить, что несмотря на внешние отличия, характер активности RY Tau тот же, что у T Tau. Однако необходимо иметь в виду, что, начиная с ранних наблюдений, отмечается очень сложная и меняющаяся со временем картина колебаний блеска звезды (Холопов, 1955). Поэтому рассмотренную схему изменений яркости RY Tau следует считать предварительной.

На рис. 6 показаны элементы кривой блеска и соотношения между показателями цвета $B-V$ и $V-B$ и блеском в V звезды CoD-33°10685, воспроизведенные по наблюдениям авторов (Кардополов, Филиппьев, 1985б). Звезда была малоактивной. Отметим, что точность фотоэлектрических измерений на больших зенитных расстояниях хуже, чем при наблюдениях на обычных высотах (Кардополов, Филиппьев, 1981). Поскольку амплитуды зарегистрированных мелкомасштабных

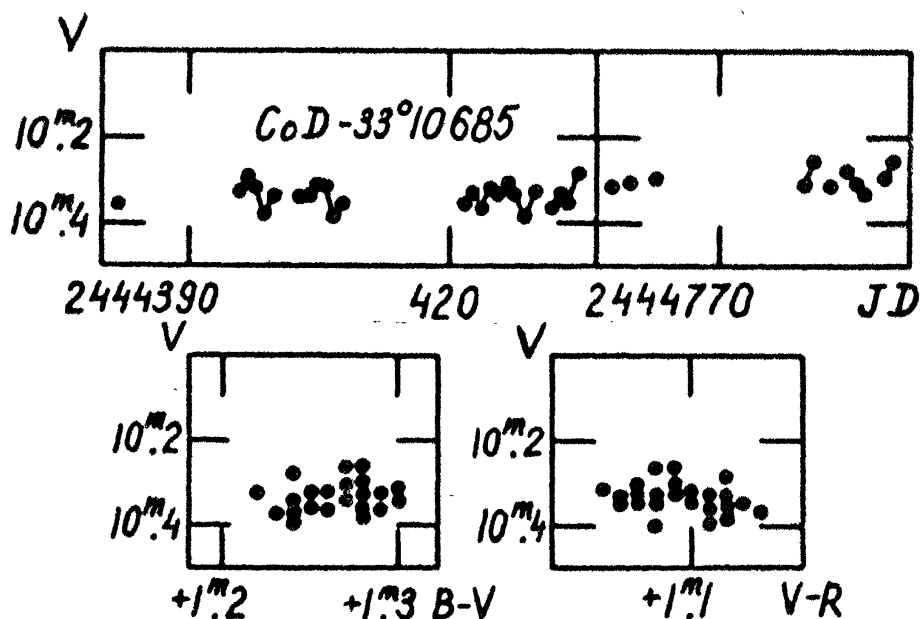


Рис.6. Блеск и соотношения цветовых параметров переменной звезды CoD-33°10685 по наблюдениям авторов.

флуктуаций CoD-33°10685 невелики, не все они реальны. В 1981 г. по сравнению с 1980 г. наблюдалось незначительное увеличение яркости звезды. На диаграммах $V-(B-V)$ и $V-(V-R)$ для CoD-33°10685 наметились те же закономерности, которые присущи для других малоактивных (в полосе V) переменных типа InT. Зависимость $B-V$ от V, как и в случае YZ Ser, имеет тенденцию к положительному наклону.

Анализируемые InT-звезды по фотометрическим характеристикам достаточно отчетливо разделились на три подгруппы. Первая из них, в которую вошла хорошо известная неправильная переменная RW Aur, включает DG Tau, BM And, RU Lup, S CrA и CoD-35°10525 = GQ Lup. Перечисленные объекты отличает высокая степень активности во всем видимом диапазоне длин волн. В системе U измерения проведены только для двух переменных подгруппы — RW Aur и DG Tau. В поведении U-B в зависимости от колебаний блеска в V закономерностей у этих звезд не обнаруживается. При переходе к B-V и V-R начинает наблюдаться упорядоченность — становится заметным покраснение при понижении блеска звезд. Степень покраснения примерно одинакова у всех переменных подгруппы. Вторая подгруппа из-за малочисленности менее выражена. Ее представляют DF Tau, UY Aur и, возможно, GM Aur. Эти звезды также обладают высокой активностью, но в отличие от членов подгруппы, возглавляемой RW Aur, степень их покраснения при падении яркости больше. К тому же, по мере уменьшения блеска она возрастает — на цветовых диаграммах хорошо видна нелинейность. Кроме того, у DF Tau, UY Aur и GM Aur закономерности прослеживаются уже при сопоставлении U-B с V, что в случае первой подгруппы не всегда имеет место даже на диаграммах $V-(B-V)$ и $V-(V-R)$. У InT-звезд третьей подгруппы амплитуда изменений блеска настолько резко уменьшается к длинноволновой области спектра, что в фотометрической системе

У они выглядят сравнительно малоактивными. В нашем случае подгруппа объединяет саму T Tau, RY Tau, DI Cep, BP Tau, CoD—33°10685 и, возможно, YZ Cep — переменную типа Isb. Характерным для них, по-видимому, является значительное покраснение, которым в среднем сопровождаются очень небольшие понижения яркости. Однако эта закономерность не всегда видна достаточно отчетливо, что обусловлено скорее всего малочисленностью наблюдений.

Возможная интерпретация результатов сопоставления фотометрических параметров.

Сходство внешних проявлений у объектов внутри подгрупп должно предполагать их одинаковую физическую природу.

Подгруппа 1. Звезды S CrA и CoD—35°10525 = GQ Lup известны как переменные типа YY Ориона (Аппенцеллер и Вольф, 1977; Аппенцеллер и др., 1978). Благодаря работам Аппенцеллера и Вольфа (1982) и Букача и др. (1982) к этому классу объектов отнесена RW Aur. Основные результаты наблюдений звезд YY Ориона и расчетов моделей обобщены в обзоре Бертю и Йорке (1982). О переменных типа YY Ориона сложилось представление, как о возможных протозвездах с малой массой ($M \lesssim 3M_{\odot}$), находящихся на стадии, когда плотность аккрецирующей оболочки уменьшается настолько, что становится оптически видимым коллапсирующее ядро. Предполагается, что наблюдаемые при этом специфические спектральные особенности обусловлены совокупностью физических процессов в околозвездной материи: охлаждением области аккреционного ударного фронта, степенью ионизации вещества слоев, предшествующих ударному фронту, интенсивностью рекомбинационной эмиссии и т.д. В результате теоретических поисков было установлено в частности, что глубина смещенного в красную область абсорбционного компонента спектральных линий должна сильно зависеть от принятого радиуса излучающей оболочки и степени переизлучения вследствие столкновений (Бертю и Йорке, 1982). Вопрос об условиях появления этого компонента исследован не до конца. В то же время наблюдения показывают, что обратный P Cug, типичный для некоторых линий в спектрах переменных класса YY Ориона (Уокер, 1972) в ряде случаев проявляется достаточно редко. Примером тому может служить RW Aur. Исследовалась она десятки лет, но причислена к звездам YY Ориона, как уже отмечалось, лишь в последние годы (Аппенцеллер и Вольф, 1982; Букач и др., 1982). Поэтому для выявления объектов, аналогичных YY Ori, желательно рассматривать другие их свойства.

Уокер (1972) заметил также, что большинство звезд типа YY Ориона обладает значительным ультрафиолетовым избытком ($U-B \lesssim 0$), который обусловлен непрерывной эмиссией. Данному критерию в нашем случае удовлетворяют DG Tau (Зайцева, 1971) и RU Lup (Бастиян

и Мундт, 1979). Непрерывная эмиссия в их спектрах настолько сильна, что абсорбционные линии практически не видны (Зайцева, 1971; Гам и др., 1974; Лаго и Пенстон, 1982). Некоторые детали сходства со звездами YY Ориона нашел у BM And Уокер (1980). Таким образом, дополнительные соображения не противоречат высказанной выше мысли, что DG Tau, BM And и RU Lup по своей природе, по-видимому, однотипны с RW Aur, S CrA и CoD-35°10525 и находятся на стадии YY Ориона.

Причины изменений блеска в широких пределах переменных типа YY Ориона пока не ясны. Имеющиеся данные позволяют думать, что наблюдаемая нестационарность, например, S CrA вызывается действием нескольких механизмов (Кардополов и Филиппьев, 1981). Если эти механизмы независимы, их вклад в активность у каждого из рассматриваемых объектов вероятно различен. В результате может возникнуть в частности дисперсия углов наклона (о которой говорилось выше) на цветовых диаграммах объектов данной подгруппы (рис. 2б, в). Ранее отмечено, что медленные изменения блеска у BM And по нашим измерениям не прослеживаются. Поскольку характерное время и амплитуда этой компоненты меняются от звезды к звезде (рис. 1а), в случае BM And представляются приемлемыми следующие варианты.

1. "Частота" интересующей нас составляющей сравнима со временем развития быстрых флуктуаций.
2. Колебания, напротив, происходят настолько медленно, что для их обнаружения необходимы более продолжительные ряды наблюдений.
3. Мала амплитуда этих изменений.

Вновь обратимся к результатам исследования S CrA. После учета медленных изменений вид диаграммы $V-(B-V)$ для этой звезды заметно изменился. В частности, возросла ее крутизна (Кардополов и Филиппьев, 1981). Отсутствие признаков медленной компоненты плюс максимальный из всего набора рассмотренных объектов наклон зависимостей $B-V$ и $V-R$ от V наводят на мысль, что у BM And вероятнее всего реализуется вариант 2 или 3. Напротив, минимальную крутизну на цветовых диаграммах RU Lup по аналогии следует отнести за счет меньшей эффективности быстрых флуктуаций (рис. 1а). Следовательно, различия в наклонах зависимостей показателей цвета от блеска у первой подгруппы объектов в принципе находят достаточно разумное объяснение.

Не исключено, что индивидуальные особенности активности у переменных типа YY Ориона частично обусловлены эволюционными эффектами. Аппенцеллер и др. (1978), например, сравнили данные наблюдений S CrA и CoD-35°10525 с результатами теоретических расчетов. Для объяснения профилей бальмеровских линий в спектре CoD-35°10525 в отличие от S CrA не потребовался учет рекомбинаций. Если вклад рекомбинаций неощутим, то, в рамках существующих представлений, мала степень ионизации слоя над охлаждающимся районом

ударного фронта. Последнее может обозначать низкий темп аккреции. Эта логика рассуждений позволила Аппенцеллеру и др. (1978) предположить, что CoD-35° 10525 находится на более поздней стадии эволюции, чем S CrA. Однако, если механизмы нестационарности ослабевают с возрастом, может оказаться, что CoD-35° 10525 — самая молодая из рассмотренных нами переменных типа YY Ориона (рис. 26, в).

Предполагаемая подгруппа 2. Из трех объектов, вошедших в нее, наиболее полно изучена DF Tau. Зайцева и Лютый (1976) считают, что распределение энергии в спектре этой переменной в принципе объясняется комбинацией излучения звезды M0V и высокотемпературного газа. Отметим, что одновременно Ридгрэн и др. (1976) пришли к заключению, что распределение энергии в спектре многих звезд типа Т Тельца можно представить в виде суммы потоков от фотосферы холодной звезды и горячей газовой оболочки. Неоднозначность изменений показателей цвета DF Tau в зависимости от блеска в V (Зайцева и Лютый, 1976; Шевченко и Шутемова, 1981) может быть понятна, если, допустим, процессы в фотосфере звезды, ведущие к нестационарности светового потока, и колебания интенсивности дополнительного излучения от предполагаемого нагретого газа происходят независимо. Зайцева и Лютый (1976) и Зайцева (1980) полагают, что высокотемпературный газ в случае DF Tau излучает энергию порциями (в виде вспышек), которые последовательно накладываются друг на друга. Наличие вспышечной активности у переменной можно, по-видимому, считать доказанным. Одна из вспышек, например, зарегистрирована в JD 2444911. По своим параметрам она аналогична описанным в работе Зайцевой (1976). Вспышка произошла, когда DF Tau находилась в минимуме (Шаймиева и Шутемова, 1985). Амплитуда ее в фильтре U составила не менее 1^m . Яркость DF Tau в B и в V при этом практически не изменилась. У вспышки проявилась тонкая структура. По меньшей мере в одном из случаев можно говорить об ее "высвечивании" (Зайцева, 1976) — блеск в U уменьшился почти до предвспышечного уровня, затем звезда вновь поярчала. "Провал" длился около 30 сек. Начало и конец вспышки в целом не зарегистрированы. Поэтому говорить об ее общей форме, скорости увеличения и уменьшения светового потока мы не можем. Длилась вспышка не более 10 мин. Подробнее наши данные об этом явлении предполагается опубликовать отдельно. Механизмы возбуждения вспышек не ясны. Но их наличие позволяет провести параллель между DF Tau и представителями подгрупп 1 и 3 RW Aug и T Tau, у которых также отмечена вспышечная активность (Зайцева, 1978, 1980; Уоден и др., 1981).

Число объектов в предполагаемой второй подгруппе в нашем случае мало. Изучены они относительно слабо. Это не позволяет достаточно надежно выявить их общие закономерности, которые должны указывать на эволюционный статус внутри класса экстремально молодых звезд. То

же самые причины лишают возможности отделить индивидуальные особенности и хотя бы в какой-то степени проследить эволюционные изменения, если они проявляются. Правда, как было отмечено выше, не исключено, что GM Aur представляет собой некоторое звено, занимающее положение между DF Tau с одной стороны и T Tau и DI Ser с другой.

Подгруппа 3. Переменные, входящие в эту подгруппу, логично предварительно расположить в порядке убывания (возрастания) степени их активности. Наибольшая нестационарность в видимом диапазоне длин волн в нашем случае зарегистрирована у T Tau (рис. 4). Наблюдения показали, что колебания блеска в U у нее носят характер всплесков или вспышек высокотемпературного излучения (Зайцева, 1978, 1980; Уоден и др., 1981). Вспышечная активность заподозрена у DI Ser (Гринин и др., 1980). Обнаружена она у BP Tau (Уоден и др., 1981). В работе Гринина и др. (1980) отмечено, что источник наблюдаемых изменений фотометрических параметров DI Ser и BP Tau вероятно однотипен — переменность светового потока от газовой оболочки. YZ Ser — давно известная неправильная переменная, но, как уже отмечалось, она не отнесена к числу InT-звезд. Ее мы включим в состав подгруппы 3, но пока с осторожностью. Уменьшение амплитуды при переходе от U—B к B—V в случае YZ Ser выражено не столь явно, как у T Tau и DI Ser (рис. 3). Примером слабоактивной переменной подгруппы 3 является, по-видимому, CoD—33° 10685. На CoD—33° 10685, как на объект, аналогичный T Tau, обратили внимание не так давно. Хербиг и Рао (1972) не обнаружили у звезды спектральных признаков, позволяющих включить ее в список InT-переменных. Ими найдена только эмиссия в линии H α . Однако, позже Хенайз (1976) пришел к выводу, что CoD—33° 10685 принадлежит этому классу объектов. Фотоэлектрические UBVR измерения разных авторов показали, что яркость ее меняется в очень небольших пределах (Шварц и Ноак, 1978; Бастиан и Мундт, 1979; Мундт и Бастиан, 1980; Кардополов и Филиппьев, 1985б). Амплитуда при переходе от B—V к V—R уменьшается у CoD—33° 10685 незначительно (рис. 6).

Хербиг (1978) высказал мысль, что могут существовать объекты, уже заканчивающие стадию T Тельца. При переходе звезд на главную последовательность признаки их экстремальной молодости должны постепенно утрачиваться (Хербиг, 1978; Имхофф, 1982; Мундт и др., 1983). Ожидается, что звезды пост—T Тельца обладают, в частности, небольшой или спорадической переменностью блеска, имеют эмиссию в линии H α (Хербиг, 1978). Не исключено, что CoD—33° 10685 с ее слабой фотометрической активностью и возможно не всегда достаточно явно выраженными (ослабленными?) спектральными признаками переменной типа T Тельца следует включить в список объектов, уже заподозренных в принадлежности к звездам пост—T Тельца (Хербиг,

1978; Мундт и др., 1983). Существует вероятность того, что YZ Сер, сохранив в каких-то пределах переменность блеска, характерную для стадии непосредственно перед главной последовательностью, полностью утратила спектральные признаки переменной типа Т Тельца. Поскольку характер изменений фотометрических параметров переменных подгруппы 3 однотипен, логично предположить далее, что Т Тау, DI Сер и ВР Тау также близки к завершающему этапу на пути к главной последовательности. Это заключение следует считать предварительным, т.к. односторонен использованный материал. Неопределенность должна уменьшиться, когда представится возможность сопоставить большое количество параметров объектов данной подгруппы и кандидатов в звезды пост-Т Тельца.

На первый взгляд RY Тау не укладывается в предполагаемую последовательность переменных третьей подгруппы (большая амплитуда в V, нет характерных зависимостей показателей цвета от блеска). Нурманова (1982), проанализировав опубликованные данные фотоэлектрической фотометрии, предположила, что звезда может принадлежать к числу затменных систем. Спектральная двойственность ее заподозрена раньше (Хербиг, 1977, 1980). Затмения и нестационарность обоих компонентов (что можно ожидать из равенства возрастов), по-видимому, дадут наблюдаемую амплитуду (Нурманова, 1982). Проявляющаяся временами "обратная" зависимость показателей цвета от блеска звезды, когда переменная становится более голубой при падении ее яркости (Зайцева, 1982), также найдет объяснение — затмение более холодного компонента (Нурманова, 1982). Вопрос о том, влияет ли (и если да, то насколько существенно) тесная двойственность на характерные параметры активности на ранних стадиях эволюции, не исследован (Имхофф, 1982). Хербиг (1977) нашел, что процентное содержание спектральных двойных среди переменных типа Т Тельца, скорее всего, такое же, как и для звезд главной последовательности. Каких-либо отличий возможных тесных двойных от вероятных одиночных InT-звезд пока не обнаружено. Если разделение, проведенное на рис. 56, оправдано и если присутствие близкого компонента влияет на ход цветовых параметров RY Тау только посредством затмений, то по степени уменьшения активности при переходе от фотометрической полосы U к полосе R переменная должна рассматриваться с CoD-33° 10685 и с YZ Сер. Дополнительным аргументом в пользу последнего заключения можно, по-видимому, считать отсутствие у RY Тау отчетливо выраженной вспышечной активности (такой, как у Т Тау). Указание на это содержится, в частности, в работе Абуладзе и др. (1975).

Вспышечная активность имеет место у представителей *всех трех* выделившихся по фотометрическим признакам подгрупп InT-звезд. Обнаружена у RW Aur (Уоден и др., 1981), исследовалась у DF Тау и Т Тау (Зайцева, 1976, 1978, 1980; Зайцева и Лютый, 1976; Куан,

1976; Шевченко и Шутмова, 1981), проявляется у DI Сер и BP Tau (Гринин и др., 1980; Уоден и др., 1981). Не исключено, что она характерна для всех переменных типа Т Тельца. Отсутствие явных признаков этого вида нестационарности у RY Tau, у CoD-33°10685 или у YZ Сер не обязательно однозначно свидетельствует об отсутствии данного механизма. Поскольку по типу активности перечисленные звезды вероятнее всего принадлежат к одной подгруппе с T Tau, DI Сер и BP Tau, то изменения блеска, которые наблюдаются у RY Tau, CoD-33°10685 и YZ Сер, частично могут быть обусловлены вспышками. Но процессы, их вызывающие, могут быть у этих переменных на стадии затухания.

Мысль, что свойствами T Tau обладают объекты в широком диапазоне возрастов, общеизвестна. Подтверждением ее обоснованности явилось, в частности, обнаружение подкласса переменных YY Ориона. В результате проведенного сопоставления фотометрических характеристик ряда InT-звезд в одну из обособившихся подгрупп вошли три переменные со спектральными признаками YY Ori. Этот факт свидетельствует о том, что выделившиеся подгруппы вероятнее всего физически однородны по составу. Существование подгрупп согласуется с высказанным предположением о возможности дальнейшей дифференциации внутри класса экстремально молодых звезд (Хербиг, 1978; Мундт и др., 1983). В рамках имеющихся представлений различия в поведении фотометрических характеристик переменных типа InT должны вытекать из смены механизмов активности при переходе протозвездного образования от фазы гидродинамического сжатия к стадии лучистого равновесия (Берту и Норке, 1982). Из наблюдений установлено, что в ряде случаев имеют место процессы, вызывающие явление вспышек в континууме в коротковолновом диапазоне видимой области спектра. Вспышечная активность прослеживается от переменных типа YY Ориона до объектов, предположительно близких по возрасту к возможным звездам пост-T Тельца. Это дает основание думать, что данный вид нестационарности — в какой-то степени универсальное свойство молодых звезд. Среди переменных типа Т Тельца вероятен определенный процент тесных пар, а следовательно, и затменных систем (Хербиг, 1977, 1980; Нурманова, 1982), т.е. не исключено присутствие составляющей, обусловленной затмениями. Наблюдаемое разнообразие кривых блеска переменных типа Т Тельца, по-видимому, будет обеспечено:

- 1) суперпозицией различных механизмов активности,
- 2) последовательной сменой части их по мере эволюции,
- 3) вариациями продолжительности развития процессов нестационарности в зависимости от индивидуальных значений массы, относительно возраста и других основных параметров при переходе от объекта к объекту.

Аналогичные выводы по другому набору звезд получены Шмелз (1984). Отправной точкой автора (Шмелз, 1984) послужили три

постулированных механизма нестационарности: изменения температуры фотосферы, процессы в хромосфере, затмения неоднородностями в пылевой оболочке.

Заключение.

При сопоставлении фотометрических данных рассмотренные InT звезды образовали три подгруппы. Ранее отмечалось, что если *степень* активности переменных типа InT меняется со временем, то *характер* ее в промежутках времени, охваченных наблюдениями, сохраняется (Зайцева, 1978; Шевченко, Шутемова, 1981). Поэтому можно считать, что полученное разделение скорее всего не случайно. Существование подгрупп, по-видимому, отражает различные этапы эволюции звезд на пути к главной последовательности. Основанием полагать это послужил тот факт, что в одну из подгрупп вошли объекты типа YY Ориона – вероятно самые молодые из класса InT-звезд. Логично ожидать, что при дальнейшем накоплении материала будет уточнено количество таких этапов, их последовательность, выявятся объекты с промежуточными параметрами. Другими словами, представится возможность более детально рассмотреть изменения, происходящие с возрастом.

Авторы глубоко признательны И.М.Ищенко, У.А.Нурмановой, О.И.Стальбовскому, П.Н.Холопову за обсуждение результатов работы и ценные критические замечания.

Dl Cep						Таблица 1	
JD	R	JD	R	JD	R	JD	R
2444...		2444...		2444...		2444...	
822.35	10 ^m 58	829.37	10 ^m 48	905.22	10 ^m 57	935.25	10 ^m 56
824.38	10.48	898.34	10.61	906.20	10.56	936.20	10.54
825.38	10.47	900.20	10.58	907.19	10.57	937.19	10.58
826.40	10.55	901.18	10.60	908.22	10.61	942.20	10.53
827.37	10.52	903.28	10.59	909.18	10.62		
828.37	10.50	904.24	10.56	910.24	10.59		

Литература

Абуладзе и др., 1975 – Абуладзе О., Варданян Р.А., Коваленко В.М., Кумсишвили Я., Меликян Н.Д., Миронов А.В., Ощепков В.А., Степанян Дж.А., Тотачава А., Черепашук А.М., Шанин Г.И., Шпычка И.В., Щербаков А.Г., ПЗ 20, 47.

Аппенцеллер и Вольф, 1977 – Appenzeller I., Wolf B., Astron. and Astrophys. 54, 713.

Аппенцеллер и Вольф, 1982 – Appenzeller I., Wolf B., Astron. and Astrophys. 105, 313.

Аппенцеллер и др., 1978 – Appenzeller I., Mundt R., Wolf B., Astron. and Astrophys. 63, 289.

Бастиян и Мундт, 1979 – Bastian U., Mundt R., Astron. and Astrophys. Suppl. 36, 57.

- Берту К., Йорке Г.У., 1982, в кн. "Протозвезды и планеты", **2**, 742, М., "Мир".
- Букач и др., 1982 – Букач А.Б., Гринин В.П., Петров П.П., Шаховская Н.И., ПАЗ **8**, 172.
- Венцель, 1970 – Wenzel W., MVS **5**, 117.
- Гам и др., 1974 – Gahm G.F., Nordh H.L., Olofsson S.G., Carlborg N.C.J., *Astron. and Astrophys.* **33**, 399.
- Гринин и др., 1980 – Гринин В.П., Ефимов Ю.С., Краснобабцев В.И., Шаховская Н.И., Шаховской Н.М., Щербаков А.Г., Зайцева Г.В., Колотилов Е.А., Шанин Г.И., Киселев Н.Н., Гюлалиев Ч.Г., Салманов И.Р., ПЗ **21**, 247.
- Джой, 1945 – Joy A.H., *ApJ* **102**, 168.
- Джой, 1949 – Joy A.H., *ApJ* **110**, 424.
- Зайцева Г.В., 1968, ПЗ **16**, 438.
- Зайцева Г.В., 1971, АФ **7**, 333.
- Зайцева Г.В., 1976, ПАЗ **2**, 431.
- Зайцева Г.В., 1978, АФ **14**, 17.
- Зайцева Г.В., 1980, в кн. "Вспыхивающие звезды, фуоры и объекты Хербига – Аро", 61, Ереван.
- Зайцева Г.В., 1982, АФ **18**, 67.
- Зайцева Г.В., Курочкин Н.Е., 1980, АЦ № 1126.
- Зайцева Г.В., Лютый В.М., 1976, ПЗ **20**, 255; 266.
- Имхофф К.Л., 1982, в кн. "Протозвезды и планеты", **2**, 800, М., "Мир".
- Кардополов В.И., Филипьев Г.К., 1981, АЖ **58**, 801.
- Кардополов В.И., Филипьев Г.К., 1985а, ПЗ **22**, 126.
- Кардополов В.И., Филипьев Г.К., 1985б, ПЗ **22**, 103.
- Куан, 1976 – Kuan P., *ApJ* **210**, 129.
- Лаго и Пенстон, 1982 – Lago M.T.V.T., Penston M.V., *MN* **198**, 429.
- Мундт и Бастиан, 1979 – Mundt R., Bastian U., *Astron. and Astrophys.* **75**, L14.
- Мундт и Бастиан, 1980 – Mundt R., Bastian U., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **39**, 245.
- Мундт и др., 1983 – Mundt R., Walter F.M., Feigelson E.D., Finkenzeller U., Herbig G.H., Odell A.P., *ApJ* **269**, 229.
- Нурманова У.А., 1982, ПЗ **21**, 655.
- Петров П.П., 1977, в кн. "Ранние стадии эволюции звезд", 66, Киев, "Наукова думка".
- Ридгрэн и др., 1976 – Rydgren A.E., Strom S.E., Strom K.M., *ApJ Suppl.* **30**, 307.
- Уоден и др., 1981 – Worden S.P., Schneeberger T.J., Kuhn J.R., Africano J.L., *ApJ* **244**, 520.
- Уокер, 1972 – Walker M.F., *ApJ* **175**, 89.
- Уокер, 1980 – Walker M.F., *PASP* **92**, 66.
- Хенайз, 1976 – Henize K.G., *ApJ Suppl.* **30**, 491.
- Хербиг, 1952 – Herbig G.H., *JRAS Canada* **46**, 222.

- Хербиг, 1962 — Herbig G.H., *Advances in Astr. and Ap.* **1**, 4⁷, New York.
 Хербиг, 1977 — Herbig G.H., *ApJ* **214**, 747.
 Хербиг, 1978 — Herbig G.H., в кн. "Вопросы физики и эволюции космоса", 171, Ереван.
 Хербиг, 1980 — Herbig G.H., *BAAS* **12**, 63.
 Хербиг и Рао, 1972 — Herbig G.H., Rao N.K., *ApJ* **174**, 401.
 Холопов П.Н., 1955, *ПЗ* **10**, 180.
 Холопов П.Н., 1970, в кн. "Эруптивные звезды", 241, М., "Наука".
 Холопов П.Н., 1981а, кн. "Звездные скопления", М., "Наука".
 Холопов П.Н., 1981б, *ПЗ* **21**, 465.
 Холопов П.Н., 1983, в кн. "Астрономия", **22**, 112, под ред. Р.А.Сюняева, Итоги науки и техники, М.
 Хоффмейстер, 1949 — Hoffmeister C., *AN* **278**, 24.
 Цесевич В.П., Драгомирецкая Б.А., 1967, *Sky and Tel.* **34**, 366.
 Шаймиева А.Ф., Шутемова Н.А., 1985, *ПЗ* **22**, 167.
 Шварц и Ноак, 1978 — Schwarts R.D., Noak P., *AJ* **83**, 785.
 Шевченко В.С., Шутемова Н.А., 1981, *АФ* **17**, 509.
 Шмелз, 1984 — Schmelz J.T., *AJ* **89**, 108.

Институт Астрофизики
 АН Каз.ССР
 Институт космических
 исследований АН СССР
 Астрономический институт
 АН Уз.ССР

*Поступила в редакцию
 29 января 1985 г.*