

## ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПЭС-ИЗОБРАЖЕНИЙ ГАЛАКТИК

Ц. Б. Георгиев

Приводится краткое описание пакета фортрановских программ для обработки ПЭС-изображений на базе мини-ЭВМ с графической станцией ROBOTRON. Обеспечены процедуры выделения подизображения, предварительной фильтрации, очищение от фоновых звезд и космических частиц, балансировка фона, фотометрия с круглой или эллиптической апертурой, а также построение и вывод разных типов профилей, карт, диаграмм, морфологических функций и т. п. Приведены примеры результатов обработки изображений галактик, видимых с ребра.

*A brief description of the FORTRAN program package for the CCD frames processing, based on the ROBOTRON mini-computer system, is given. The procedures of preliminary filtering, subtraction of subimage, discarding of foreground stars and cosmical events, background balance, photometry under circular or elliptical aperture, as well as building and outputting of different kinds of profiles, maps, diagrams, morphological functions, etc. are insured. Some examples in the field of edge-on galaxy investigations are included.*

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Рассматриваемый в этой работе пакет программ является дополнением к Роженскому комплексу программ (Георгиев, 1987; 1990) в его варианте для мини-ЭВМ с графическими станциями в САО АН СССР (Георгиев, 1989). Пакет предназначен для очищения обрабатываемого кадра от разных типов помех и проведения достаточно полного фотометрического анализа информации, содержащейся в ПЭС-изображении исследуемого объекта.

В процессе реализации и усовершенствования Роженского комплекса программ (наиболее полно обеспечивающего прежде всего фотометрию изолированных галактик), учитывались опубликованные данные о других подобных работах, и, в частности, процесс становления и меню комплекса MIDAS (1988). Имелись в виду также результаты работ в этой области, выполненных ранее в САО АН СССР (Назаренко, 1981; Коровяковская и Коровяковский, 1982; Буренкова и др., 1984) и АО ЛГУ (Яковлева и др., 1984; Макаров и др., 1987). В конечном итоге возможности Роженского комплекса оказались весьма сходными с возможностями комплекса SPIRAL (Ичикава и др., 1989). Отметим, что в цитированной работе приводится полный список важнейших публикаций в области идеологии и реализации пакетов программ для обработки изображений.

В процессе работы над настоящим пакетом пришлось существенно усовершенствовать ряд средств базисного комплекса и включить около 10-ти новых программ. Таким образом удалось заметно ускорить выполнение отдельных процедур, а также процесс обработки в целом. Кроме того, введено в практику применение некоторых специальных методов, таких, как фотометрия с круглой или эллиптической диафрагмой и построение обобщенных профилей галактик.

В систему используемой мини-ЭВМ ROBOTRON CM 1630 входят процессор общего назначения типа K2663/2664, 256 кбайт оперативной памяти, два алфавитно-цифровых терминала, два магнитофона, 4 кассетных диска по 2.5 Мбайт, 2 диска-винчестера по 56 Мбайт и матричный принтер, а также дисплейный процессор, цветной графический дисплей (для 8 битовых кадров 512x512 пиксел), графическая память 512x610 пикселов и трекболл. Операционная система MOEX-1600 типа RSX-11 обеспечивает применение алгоритмических языков FORTRAN IV и FORTRAN 77, с использованием до 64 кбайт оперативной памяти для отдельной задачи.

В рамках описанной конфигурации ЭВМ внедрен Бабельсбергский комплекс программ для обработки изображений, созданный в ЦИА АН ГДР (Рихтер и Лоренц, 1989). Этот комплекс обрабатывает байтовые кадры размером 512x512 пикселов с помощью дисплейного процессора. Поэтому, по сравнению с использованием процессора общего назначения, получается выигрыш в скорости обработки в сотни раз. Среди многих достоинств Бабельсбергского комплекса отметим замечательную работу метода адаптивной фильтрации Рихтера (Рихтер, 1978; Капачиоли и др., 1988) и реализации весьма эффективной методики для фотометрии галактик в скоплениях. Поскольку диапазон ПЗС-данных (4096 или 8092 различных уровня) велик и его нельзя редуцировать в рамках одного байта (чего требуют архитектура графической станции и Бабельсбергский комплекс), приходится использовать прежде всего визуализационные средства Бабельсбергского комплекса, а для самой обработки (в смысле набора последовательных преобразований изображения) использовать процессор общего назначения.

На самом деле отказ от использования дисплейного процессора (который в принципе предназначен лишь для узкого класса процедур) дает возможность реализовать более универсальные, вполне транспортабельные и легко доступные для своевременных усовершенствований программы. Последнее соображение, на наш взгляд, особенно важно, так как ныне в астрономии происходит бурное развитие методов обработки наблюдательных данных, и, в частности, изображений.

В процессе работы все кадры, являющиеся результатами разных процедур, сохраняются на дисках в виде файлов последовательного доступа. Все программы обрабатывают файлы кадров строка за строкой в режиме последовательного одноразового доступа к их элементам. В ряде случаев (например, при применении локальных методов фильтрации) программным способом обеспечено сохранение в оперативной памяти и одновременное использование нескольких последовательных строк изображения. Все программы используют минимальное подмножество инструкций алгоритмического языка FORTRAN IV, который в данной ЭВМ работает без обращения к эмулятору арифметики с плавающей запятой. В случае подключения аппаратной реализации вычислений с плавающей запятой и перекомпиляции программ в системе языка FORTRAN 77 скорость работы увеличивается в 2.5 - 4.5 раза.

Источником цифровых кадров (изображений) с размерами 512x512 пикселов является магнитная лента в формате FITS, подготовленная в результате наблюдений на ПЗС БТА (Борисенко и др., 1990). Для компенсации прямоугольности

элементов ПЗС-матрицы (каждый из которых с размерами 18x24 мк или 0.62x0.82") приходится растягивать кадр по Y-оси в 4/3 раза (в результате чего его размеры достигают 512x682 пикселей). С целью существенного сокращения времени обработки обычно выделяется некоторое подизображение ПЗС-кадра, охватывающее полностью исследуемую галактику. Обеспечена также обработка кадров, полученных на микроденситометре, включая линейаризацию шкалы их яркостей.

Максимальная ширина обрабатываемых нами кадров составляет примерно 1000 пикселей, а для длины нет существенных ограничений, однако с практической точки зрения обработка кадров с размерами больше 512x512 пикселей существенно усложняется.

Время обработки кадра с помощью конкретной программы зависит от его размера и применяемого метода, составляя обычно (для кадра с размерами примерно 300x400 пикселей) несколько десятков - несколько сот секунд. Текущая информация и конечные результаты разных процедур выводятся на алфавитно-цифровой терминал, цветной графический дисплей и принтер.

## 2. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Первичная обработка - приведение к плоскому полю, подавление заранее известных дефектов конкретной матрицы, оценивание среднего фона и архивизация кадра выполняется в системе мини-ЭВМ, обеспечивающей накопление и сбор данных наблюдений на БТА (Копылов, Шергин, 1990). Процесс дальнейшей обработки ПЗС-кадров соответствует аналогичным процессам, которые применяются в других обсерваториях. Рассмотрим три его части - подготовку, очистку и фотометрию.

### 2.1. Подготовка

Ввод изображения в ЭВМ осуществляется с магнитной ленты в FITS-формате с использованием программы CCD, которая формирует файл "сырого" кадра и вместе с этим загружает выбранную кадровую память для визуального контроля. В процессе считывания проводится (по желанию пользователя) выделение заранее намеченного подизображения, построчное устранение импульсных помех с помощью медианного фильтра (Тьюки, 1981), построчное сглаживание с помощью скользящего полинома третьей степени (быстрым алгоритмом) и  $3/4$  x или  $4/3$  y компенсация координатной анизотропии. Загрузка кадровой памяти проводится с оптимальной визуализацией помех от космических частиц. Программа CCD выполняет многие обязательные процедуры в рамках одного пасса, экономя формирование промежуточных файлов. Для ввода микроденситометрических кадров применяются аналогичные средства.

Считывание изображения с диска (после того, как он записан в принятом в Роженской системе формате) и загрузка кадровой памяти с целью визуального анализа, измерение с помощью измерительного креста или с оглядкой на применение Бабельсбергского комплекса программ осуществляется с помощью программы LUI (load/unload image). С помощью той же программы можно считывать изображения с кадровых памяти (в однобайтовом или двухбайтовом режиме) и записывать их в принятом формате изображений. Для полного использования возможностей Бабельсбергского комплекса нужно вписывать изображения в одном байте, используя программу LUI или ATR (amplitude transform). Последняя

обеспечивает линейное, полиномиальное, логарифмическое преобразование кадра, а также соответствующие обратные преобразования.

В настоящем пакете программ введено применение эллипсов разных типов, выделяющих в кадре рабочие области для разных программ. Этот подход существенно повысил быстродействие и оказался очень удобным с практической точки зрения. Программа CRS (cross), которой посредством трекболла можно двигать измерительный крест, обеспечивает возможность измерения на дисплее и вывода параметров разных эллипсов в файл-список. К элементам этого списка могут обращаться другие программы, при этом во всех случаях существует также возможность ручного ввода параметров нужного эллипса.

Обычно в начале обработки измеряются и заносятся в файл параметры трех концентрических относительно центра исследуемой галактики эллипсов (рис. 1). Первый из них выделяет изображения галактики на уровне примерно  $25^m/\square''$ , ограничивая область, в которой нельзя применять медианную фильтрацию слабых звезд и космических частиц. После этого можно использовать достаточно большое окно для очищения и сглаживания фона, не трогая фотометрическую структуру ярких частей объекта. Если нужно, изображение внутри первого эллипса очищается от помех вручную, как описано ниже и/или сглаживается с меньшим окном. Второй эллипс, размером примерно в два раза больше первого, используется для балансировки фона и для выделения рабочей области фотометрических программ.

Если нужно, вводится третий эллипс, еще больший, который используется в качестве внешней границы области "ручного" очищения, для определения фона изображения и для контроля достаточности размера второго эллипса. Каждый из эллипсов формально может выходить за границы изображения и даже за рамки кадровой памяти. Если кадр меньше, данный эллипс частично или полностью будет соответствовать рамкам кадра. Иллюстрация приводится на рис. 1.

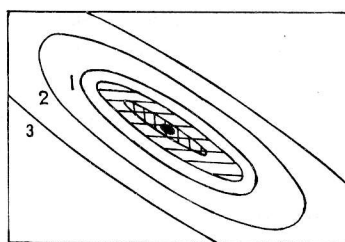


Рис. 1. Пример взаимного расположения изображения галактики и трех его концентрических эллипсов, которые выделяют рабочие области разных программ.

С помощью программы CRS создается также файл списка центров и радиусов "средних" по размеру звездных изображений (с диаметрами в 7-33 пиксела), которые потом устраняются с помощью программы DTP (detaile photometry), в рамках одного пасса кадров. Эта программа может работать также в режиме фотометрии звезд по списку. Наконец, с помощью программы CRS таким же способом создается список эллипсов, центрированных на яркие звезды или другие крупные помехи. Для их устранения (или фотометрии) используется программа SEP (single ellipse photometry), которая в рамках одного пасса кадра обрабатывает только одно из намеченных эллипсами изображений.

## 2.2. Очищение

Процедуры очищения начинаются с исключения средних по размерам изображений звезд. Для каждого звездного изображения из списка программа DTP строит методом наименьших квадратов плоскость фона, используя периферийные пиксели соответствующего круга возле изображения, а потом заменяет значения всех

пикселей внутри круга значениями плоскости. В режиме фотометрии эта программа вычисляет интеграл (объем) звездного изображения и выдает его инструментальную звездную величину. Аналогичным образом, однако с помощью программы SEP, осуществляется последовательное исключение крупных изображений звезд или галактик, мешающих исследованию выбранного объекта.

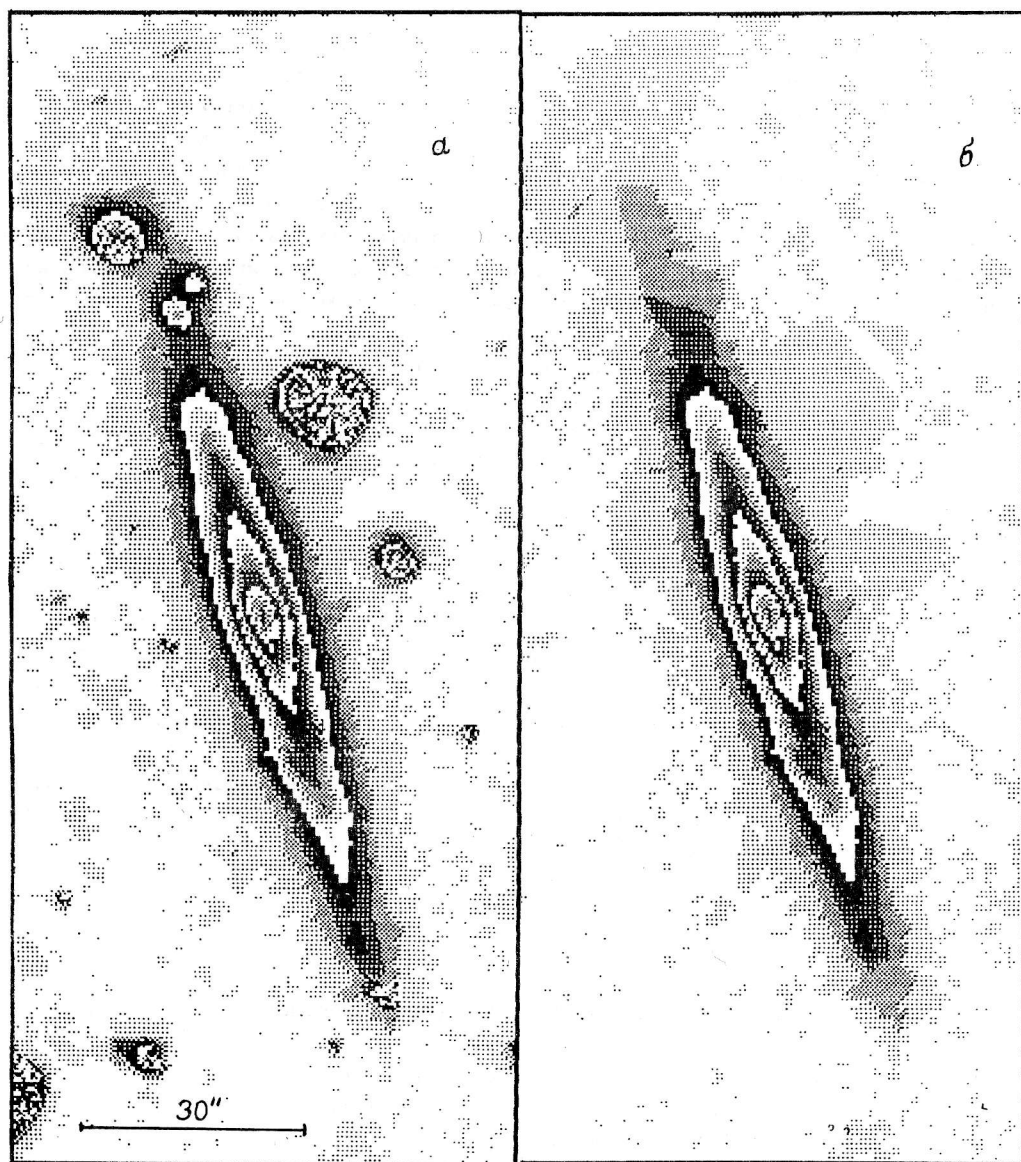


Рис. 2. Фрагмент с размерами  $113 \times 244$  пиксела, выделенный из кадра галактики UGC 11838. Полутоновые карты оригинала (а) и результата его чистки (б) представлены с изотонным шагом в 4%, начиная от 1% выше уровня фона.

Программа SEP является наиболее многоцелевой. Она, по существу, моделирует работы фотометра с эллиптической диафрагмой и работает (по желанию)

пользователя) в одном из следующих режимов: измерение фона вдоль некоторого эллипса, охватывающего исследуемый объект; вычисление интегралов (объемов) объекта внутри заданного эллипса и заданной изофоты, устранение изображения выбранного объекта из кадра и балансировку фона.

Для исключения космических частиц и слабейших звезд вне первого эллипса используется программа MDS (median smoothing). Размер круглого или квадратного окна, внутри которого вычисляется скользящее медианное значение, задается в рамках 11-15 пикселей. В программе применяется самый быстрый из известных алгоритмов (Хуанг, 1984). Несмотря на это, медианная фильтрация является одной из самых медленных процедур рассматриваемого комплекса, обрабатывающая в рассматриваемом случае изображение с размерами 250x250 пикселей в течение примерно 10 минут. После очищения и сглаживания, если необходимо, с помощью программы SEP проводится балансировка (выравнивание) фона в линейном приближении. Сразу, без выхода из программы, подвергается балансировке и неочищенный оригинал. Потом он может быть объектом измерений с круглыми или эллиптическими диафрагмами, а также косметического сглаживания для построения окончательной карты галактики. Полутоновые и изофотные карты строятся с помощью программ LOI и LOM. Очищенное и сглаженное изображение объекта используется для построения профилей и морфологических функций.

Для сглаживания мелкомасштабного шума кадра (включая звездные изображения, когда их нужно сохранить и профотометрировать) рекомендуется применение скользящей поверхности третьей степени, "натягиваемой" на значения пикселей внутри круглого окна с размерами 3x3 - 9x9 элементов. Для этой цели применяется программа SMT (smooth), в которой разработан соответствующий быстрый алгоритм, использующий симметрию задачи. С его помощью применение метода наименьших квадратов для каждого текущего положения сглаживающего окна заменяется операцией свертки, ядро которой вычисляется в начале работы программы. Двумерная свертка реализована с помощью соответствующего быстрого алгоритма (см. например, Очин, 1989). При прочих равных условиях эта программа (в которой предусмотрены и другие ядра свертки) работает примерно в 2 раза быстрее медианной фильтрации.

Следует отметить, что процедура очищения кадра от помех и балансировка фона возле изображения уменьшают шум в 1.5-2 раза, что составляет 0.5-0.8 % фона. Пример очищения представлен на рис. 2.

Оригиналы программ CCD и CRS были любезно предоставлены А. Ф. Назаренко.

### 2.3. Фотометрия

Определение разных статистических величин фона и изображений осуществляется с помощью программ HIS (histogram) и SEP.

Для определения стандартизационной константы и значений фона ночного неба на базе фотоэлектрических наблюдений с концентрическими круглыми диафрагмами используется программа APC (aperture calibration). Предварительно вводится файл списка размеров диафрагм в системе Вокулера и результатов измерений в системе UBVR1 (частично или полностью). Программа моделирует работы электрофотометра и вычисляет разными способами значения стандартизационной константы и фона ночного неба. Имеется возможность устранить из рассмотрения "плохие" фотоэлектрические данные и выбрать оптимальную оценку константы.

Построение морфологических функций - изменений яркости, отношения полуосей,

Построение морфологических функций - изменений яркости, отношения полуосей, позиционного угла и т. д., в зависимости от большой полуоси или эквивалентного радиуса изображения составляет первоочередную задачу при фотометрии галактик. В рассматриваемом комплексе эта задача решается с помощью программы MOF на базе метода моментов (Георгиев, 1988). Соответствующий пример приведен на рис. 3. В рассматриваемом пакете с помощью программы APP (aperture photometry), реализована также возможность получения морфологических функций на базе одновременной фотометрии изображения с большим набором concentрических апертур.

Построение профилей разного типа реализовано в программе SEC (sections) базисного комплекса. В настоящем пакете в рамках программы EON (edge-on) имеется также возможность одновременного построения обобщенных профилей галактики вдоль ее большой и малой осей, в соответствии с рекомендациями Ватанабе (1983) (см. рис. 4).

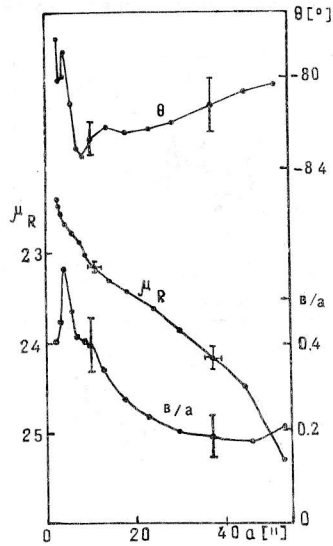


Рис. 3. Морфологические характеристики изображения галактики UGC 290 - зависимости поверхностной яркости  $\mu_R$ , отношения полуосей  $b/a$  и позиционного угла  $\theta$  от большой полуоси  $a$  изображения.

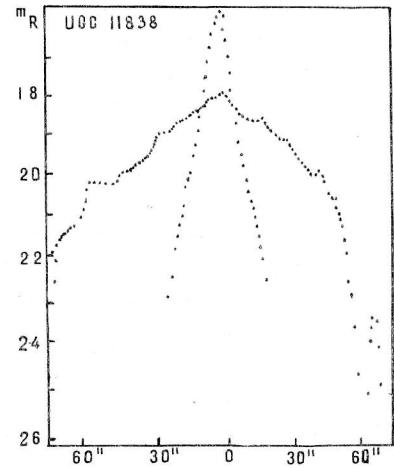


Рис. 4. Обобщенные (спроецированные на большую и малую оси) профили изображения галактики UGC 11838. Распределение яркостей получено в результате интегрирования "объема" изображения галактики над фоном вдоль полос шириной в  $1''$ , в рамках соответствующего второго эллипса.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализованный пакет программ позволяет проводить обработку и анализ ПЗС-кадров с помощью современных математических и программных средств, в соответствии с требованиями практики. Вместе с этим он обеспечивает представление конечных результатов работы в достаточно удобной для интерпретации форме.

Цветной графический дисплей весьма эффективен для визуального анализа и контроля промежуточных результатов, для использования измерительного креста, а также для вывода графической информации. Отметим однако, что в комплексе программ сохранены все его изначальные возможности для работы с помощью самых



простых дисплеев и принтеров, на которых полутоновые карты и графики выводятся с помощью алфавитно-цифровых символов. Поэтому почти все программы Роженского комплекса могут применяться без переделки на любой мини-ЭВМ серии СМ, а также на любой персональной ЭВМ. Для обеспечения визуализации в последнем случае, а также на мини-ЭВМ с другими графическими дисплеями, следовало бы переделать соответствующие графические подпрограммы комплекса.

Следует отметить, что используемая мини-ЭВМ снабжена довольно медленным процессором. По нашим данным он решает статистические задачи (вычисление автокорреляционной функции ряда вещественных чисел) в 20-30 раз медленнее, чем процессор мини-ЭВМ типа СМ 1420. Можно отметить еще, что реализация метода медианной фильтрации, где преобладает сравнение между целыми числами, происходит примерно в 25 раз медленнее, чем на мини-ЭВМ PDP 11-34 Роженской обсерватории. В этих условиях процесс полной обработки одного кадра по вышеизложенной схеме продолжается вплоть до нескольких часов. В будущем предусматривается усовершенствование наиболее трудоемкого этапа обработки - процесса исключения фоновых звезд.

Рассмотренный пакет программ был применен с успехом для обработки более чем 100 изображений галактик, видимых с ребра, полученных во время первых сетов наблюдений с помощью ПЗС на БТА. На рис. 5 приведено сравнение между диаграммами Талли-Фишера для таких галактик, построенными в В-лучах (Караченцев, 1989) и R-лучах по предварительным результатам наблюдений с ПЗС. Как видно, в соответствии с ожиданиями (прежде всего из-за меньшего влияния поглощения) разброс точек на диаграмме в R-лучах несколько ниже, чем в В-лучах. По-видимому, после калибровки зависимости Талли-Фишера на базе использования более чем одного фотометрического параметра и с учетом морфологии используемых галактик, удастся получить неплохой фотометрический метод для оценок расстояний до очень далеких частей Вселенной.

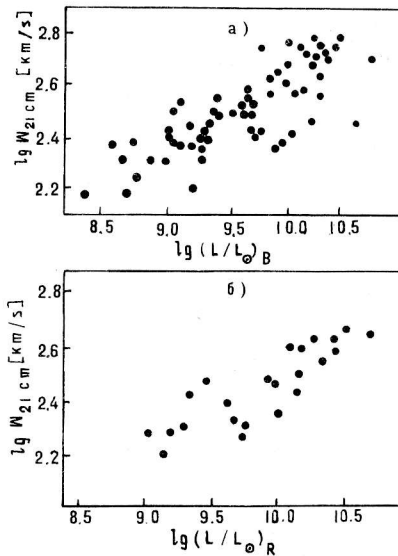


Рис. 5. Диаграммы Талли-Фишера в В-лучах по данным Караченцева (1989) и в R-лучах (б) по данным наблюдений с ПЗС-матрицей на БТА.

Автор выражает глубокую благодарность И. Д. Караченцеву, А. И. Копылову, Н. А. Тихонову, С. С. Кайсину и особенно А. Ф. Назаренко, Г. М. Рихтеру, Х. Лоренцу, В. П. Решетникову за полезные дискуссии и ценные рекомендации.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Борисенко А. Н., Витковский В. В., Желенкова О. П., Копылов А. И., Маркелов С. В., Рядченко В. П., Шергин В. С.: 1990, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, **32**, с. 157.
- Буренкова О. С., Горошков В. П., Гурин В. М., Коровяковская А. А., Коровяковский Ю. П., Назаренко А. Ф., Назаренко И. И., Шергин В. С.: 1984,



- Астрофиз.исслед. (Изв.САО)*, 18, с. 105.
- Ватанабе (Watanabe M.): 1983, *Ann. Tokyo Astron.Observ.*, 19, p. 121.
- Георгиев Ц.: 1987, Канд. диссертация, Болгарская АН, София.
- Георгиев Ц.: 1988, *Письма в астрон. ж.*, 14, с. 882.
- Георгиев Ц.: 1989, Доклад на Конференции научно-технических работ САО, (неопубликовано).
- Георгиев Ц.: 1990, *Астрофиз.исслед. (Изв.САО)*, 32.
- Ичикава и др. (Ichikawa S., Okamura S., Watanabe M., Hamabe M., Aoki T. and Kodaira K.): 1989, *Ann. Tokyo Astron.Obs., 2nd Series*, 21. No. 3, p.285.
- Капачиоли и др. (Capaccioli M., Held E.V., Lorenz H., Richter G.M. and Ziener R.): 1988, *Astron. Nachr.*, 309, No.2, p.69.
- Караченцев (Karachentsev I.D.): 1989, *Astron.J.*, 97, p.1566.
- Копылов А. И., Шергин В. С.: 1990, *Инструкция пользователя*.
- Коровяковская А. А., Коровяковский Ю. П.: 1982, *Астрон.ж.*, 59, с. 163.
- Макаров В. В., Решетников В. П., Яковлева В. А.: 1987, *Труды АО ЛГУ*, 41, с. 112.
- Назаренко А. Ф.: 1981, *Астрофиз.исслед. (Известия САО)*, 13, с. 98.
- Очин Е. Ф.: 1989, *Вычислительные системы обработки изображений, Радио и связь*, Москва.
- Рихтер (Richter G. M.): 1978, *Astron. Nachr.*, 299, p. 283.
- Рихтер Г. М. и Лоренц Х.: 1989, *Инструкция пользователя*.
- Тьюки Дж.: 1981, *Анализ результатов наблюдений*, Наука, Москва.
- Хуанг Т.: 1984, *Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений*. Мир, Москва, 1984.
- Яковлева В. А., Штейнвайс А. Б., Ильин В. Б., Яблокова Н. В.: 1984, *Вестник ЛГУ*, 3, с. 99.
- MIDAS: 1988, *Users Guide 88 JAN*, ESO.

Поступила в редакцию  
31 мая 1990 г.