

## МНОГОЦЕЛЕВОЙ ПОЛЕВОЙ СПЕКТРОГРАФ БТА II. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

С. Н. Додонов, Х. Лоренц

Приводится описание структуры и архитектуры математического обеспечения, предназначенного для обработки результатов наблюдений программы «Глубокий спектральный обзор избранных площадок неба на 6-м телескопе». Описана компрессия данных с помощью преобразования Хаара; методика и алгоритмы считывания снимков на двухкоординатном микроденситометре АМД-1; методика и алгоритмы обработки снимков многоцветной фотометрии; методика и алгоритмы обработки спектральных снимков. Описание математического обеспечения иллюстрируется результатами обработки снимков, полученных на 6-м телескопе.

The image processing system for data handling of observations carried out according to the program «The deep spectral survey of the 6-m telescope» is described. The descriptions are presented of the data compression with the help of Haar conversion; procedure and processing algorithms of multicolour photometry; procedure and processing algorithms of spectral images. The software description is illustrated with the processed images, obtained on the 6-m telescope.

Спектральное и фотометрическое исследование всех объектов исследуемого звездного поля определяет необходимость использования ЭВМ при обработке результатов наблюдений. Применение ЭВМ при обработке результатов фотометрических наблюдений, начиная с пионерских работ Крона [1], к настоящему времени достигло очень высокого уровня. Успехи многих групп астрономов в обзорных работах во многом определяются применением автоматизированных систем обработки наблюдательных данных. Преодоление с помощью автоматизированных систем обработки наблюдательных данных таких трудностей, как поиск большого числа объектов в исследуемом поле, их измерение, классификация и т. д., позволяют получать однородные выборки объектов до заданной звездной величины.

Одной из основных особенностей автоматизированных систем обработки наблюдательных данных является необходимость обрабатывать огромный объем информации, так, например, снимок, полученный на телескопе системы Шмидта с полем  $3^\circ \times 3^\circ$ , содержит около  $10^8$  независимых элементов; для представления этих данных в памяти ЭВМ потребуется  $10^9$ — $10^{10}$  бит.

Возможностей реализации обработки такого объема информации много: увеличение быстродействия и расширение памяти используемых ЭВМ, обработка данных по частям, выбор объектов по заданному списку координат и т. д. Однако, пожалуй, самым эффективным путем является использование того, что исследуемые объекты представляют лишь небольшую часть информации. Это позволяет в принципе редуцировать объем данных, которые необходимо обработать.

**1. Редукция объема данных.** Известно несколько принципов редукции объема данных. За основу был принят метод редукции объема данных и математическое обеспечение обработки астрономических данных, разработанные астрономами ЦИА АН ГДР [2]. В основу метода редукции объема данных положено модифицированное преобразование Хаара [3].

Одномерная система функции Хаара образует полную систему ортогональных дискретных функций  $H_{ij}(x)$ , которые принимают значения  $+1, 0, -1$ . Они разлагаются в ряд по степеням  $i$ , причем  $i$ -й член разложения содержит  $2^{i-1}$  функции  $H_{ij}$ . Схематическое представление базисных функций для одномерного преобразования дано на рис. 1.

Коэффициенты Хаар-преобразования функции  $f(x)$  вычисляются с помощью уравнения

$$h_{ij} = \int H_{ij}(x) f(x) dx.$$

Если функция содержит только  $n=2^k$  дискретных значений, то полная система функции Хаара содержит функции от  $i=0$  до  $i=k$ . Коэффициенты преобразования Хаара могут быть вычислены с помощью матрицы

$$h = H \times f.$$

Обычно переход от одномерного случая к двумерному осуществляется так:

$$h = H \times f \times \tilde{H}.$$

Однако это представление не подходит для нашего случая, поскольку смешиваются Хаар-коэффициенты разных порядков по  $x$  и  $y$ , что неудобно для вычислений. В связи с этим применена модифицированная двумерная система функций, обладающая теми же свойствами, что и система Хаар-функций (полнота и ортогональность), но содержащая только коэффициенты одинаковых порядков по  $x$  и  $y$ . Эту систему функций можно получить следующим образом. Пусть  $\Delta x$  и  $\Delta y$  — шаг дискретизации выборки по  $x$  и  $y$  соответственно; рассмотрим в качестве наименьшего элемента изображения ячейку  $2 \times 2 = 4$  измеренных точки в двух соседних строках  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_1)$ ,  $(x_1, y_2)$ ,  $(x_2, y_2)$ , где  $x_2 = x_1 + \Delta x$ ,  $y_2 = y_1 + \Delta y$ . Из измерений функции  $f(x, y)$  в этих точках мы можем сформировать четыре коэффициента Хаар-преобразования по следующей схеме:

$$h_m = \frac{1}{4} |f(x_1, y_1) + f(x_2, y_1) + f(x_1, y_2) + f(x_2, y_2)|;$$

$$h_x = \frac{1}{4} |f(x_1, y_1) - f(x_2, y_1) + f(x_1, y_2) - f(x_2, y_2)|;$$

$$h_y = \frac{1}{4} |f(x_1, y_1) + f(x_2, y_1) - f(x_1, y_2) - f(x_2, y_2)|;$$

$$h_e = \frac{1}{4} |f(x_1, y_1) - f(x_2, y_1) - f(x_1, y_2) + f(x_2, y_2)|.$$

Коэффициенты имеют простой смысл:  $h_m$  — среднее значение функции  $f(x, y)$  в выборке;  $h_x$ ,  $h_y$  — представляют собой градиенты по  $x$  и  $y$  соответственно;  $h_e$  — кривизна.

Выбранный коэффициент нормировки, равный  $1/4$ , упрощает обратное преобразование, которое может быть сделано с помощью того же алгоритма. Теперь измеренная область состоит из набора элементарных четырехточечных ячеек. Коэффициенты  $h_x$ ,  $h_y$ ,  $h_e$  этих ячеек все вместе формируют высшие порядки  $k$ . Если объединить  $h_m$  четырех четырехточечных ячеек по той же схеме, заменив  $f(x, y)$  на  $h_m$ , то получим коэффициенты порядка  $k-1$  для области. Эта процедура может быть продолжена до тех пор, пока в области существуют подобласти одинакового размера. Последний возможный шаг даст коэффициенты 1 и 0 порядков. И поэтому значение порядка  $k$ , которого достигнут начальные коэффициенты четырехточечной ячейки, зависит от числа шагов преобразования (и, конечно, от размеров поля). Коэффициенты одного порядка соответствуют одной полосе пространственных частот. Преобразование Хаара можно рассматривать как процесс дискретизации исходного сигнала, при котором с переходом к функциям более высокого порядка вдвое уменьшается шаг дискретизации. Фактически хааровский спектр описывает распределение энергии компонент, соответствующих разностям яркостей соседних элементов, разностям средних значений яркостей соседних пар элементов, разностям

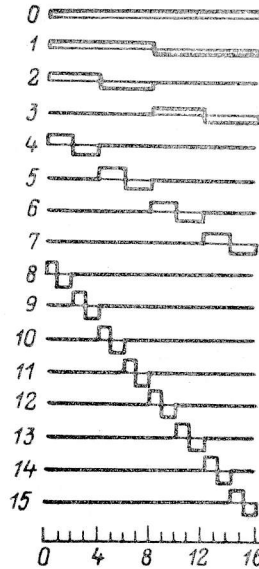


Рис. 1. Схематическое представление базисных функций для одномерного преобразования Хаара.

средних значений яркостей групп из  $2^{k-1}$  элементов. На практике преобразование делается на поле размером  $16 \times 16$  точек, что дает для этой области 192 коэффициента порядка 4, 48 — порядка 3, 12 — порядка 2, 3 — порядка 1 и один коэффициент (среднее по всей области) порядка 0. Фоновые значения (сигнал отсутствует) коэффициентов близки к 0 (за исключением  $h_m$ ). Их стандартные отклонения зависят от амплитуды спектра шумов. Поэтому поиск сигнала необходимо осуществлять там, где значения коэффициентов больше некоторого значения  $\chi\sigma$ , где  $\sigma$  — стандартное отклонение для соответствующих коэффициентов  $h$ , полученное в областях, свободных от сигнала. Фактор  $\chi$  соответствует уровню доверительной вероятности, с которым обнаруживается сигнал. Если один из коэффициентов четырехточечной ячейки превысил заданное значение  $\chi\sigma$ , вся ячейка запоминается как содержащая сигнал. Такой «пороговый» тест в пространстве трансформированных данных соответствует усреднению в пространстве исходных данных по областям разной протяженности, размер которых автоматически регулируется присутствием сигнала в этих

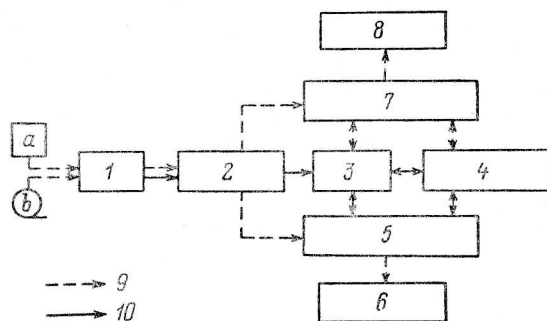


Рис. 2. Логическая структура системы обработки данных.

$a$  — микроденситометр АМД-1;  $b$  — магнитная лента; 1 — вход в систему; 2 — блоки подготовки данных; 3 — блоки анализа данных; 4 — блоки классификации подписания данных; 5 — каталоги данных фотометрии; 6 — блоки графического представления данных фотометрии; 7 — каталоги спектральных данных; 8 — блоки графического представления спектральных данных; 9 — информационные связи; 10 — логические связи.

областях. Таким образом, исходная матрица данных с равномерной сеткой координат, определяемой наименьшим элементом разрешения, преобразуется в набор данных с неравномерной сеткой, причем интервалы между данными определяются только наличием сигнала, превышающего некоторый заданный порог обнаружения.

Для уменьшения числа коэффициентов, прошедших «пороговый» тест (и, в частности, из-за необходимости исключить из данных случайные шумовые выбросы, превышающие порог), необходимо указать, на каких частотах в среднем присутствует полезный сигнал. Это возможно сделать в каждом конкретном случае в соответствии с характером исследуемых сигналов. Для рассматриваемого случая это размеры изображений слабых звезд.

Применение описанной методики к обработке астрономических данных позволяет редуцировать исходный объем данных от 50 до 200 раз, сохраняя при этом полезную информацию; входные данные для этой процедуры минимальны: стандартные отклонения  $\sigma$  для Хаар-коэффициентов и значение фактора  $\chi$ .

**2. Логическая структура и архитектура системы математического обеспечения.** Любая система обработки наблюдательных данных предполагает следующие основные этапы работы: ввод данных; анализ данных; классификация и описание объектов; представление результатов работы.

Логическая структура системы обработки данных представлена на рис. 2. Если данные представлены не в цифровой форме (фотографический носитель), то первым этапом работы будет преобразование данных в цифровую форму.

Подготовка данных к анализу предполагает преобразование данных к виду, соответствующему возможностям и архитектуре используемой при обработке ЭВМ. На этапе подготовки данных к анализу производится Хаар-преобразова-

ние данных по методике, описанной выше, затем в свободных от сигнала (звезды, галактики) областях, задаваемых программе, рассчитываются стандартные отклонения коэффициентов Хаара.

В анализ данных входит выделение областей, содержащих сигнал выше заданного значения  $\chi\sigma$  («пороговый тест»), устранение шумов эмульсии, прошедших «пороговый» тест с помощью «спектрального» теста. Объем преобразованных таким образом данных составляет 0.5—3 % от исходного объема данных. Вслед за выделением областей, содержащих сигнал, производится анализ обнаруженного сигнала: разделение объектов, вычисление их основных параметров.

По результатам, полученным при анализе данных, производится классификация и описание объектов для дальнейшего анализа полученной выборки объектов.

Представление результатов осуществляется с помощью таблиц и графиков, содержащих основную информацию.

**2.1. Аппаратные средства.** Система обработки наблюдательных данных адаптирована на возможности ЭВМ ЕС 1035 САО АН СССР с оперативной памятью 8 Мбайт, дисковыми накопителями емкостью 29 Мбайт, накопителями данных на магнитной ленте (800/1600 bpi), графопостроителем рулонного типа и т. д.

Преобразование данных с фотографического носителя в цифровую форму осуществляется с помощью микроденситометра АМД-1 [4].

Все математическое обеспечение написано на языке Фортран-IV и поддерживается операционной системой ОС ЕС. Система построена по библиотечному принципу, что позволяет легко дополнять и расширять ее возможности новыми модулями.

**2.2. Преобразование данных с фотографического носителя в цифровую форму.** Исследование фотометрических характеристик большого числа объектов немислимо без применения ЭВМ. Первые работы в области массовой фотометрии объектов [1] с применением обработки данных на ЭВМ продемонстрировали большие возможности, открывающиеся для анализа данных. Использование цифровой техники при обработке снимков бесцелевой спектроскопии [5] уменьшило субъективные факторы, влияющие на отбор объектов, позволило разработать и применить сложные методики отбора и классификации объектов [6].

Аппаратной основой этих работ стали двухкоординатные микроденситометры, работающие на линии с ЭВМ, с их помощью осуществлялось преобразование данных с фотографического носителя в цифровую форму.

В САО АН СССР с 1978 г. работает микроденситометр АМД-1 с управляющей микро-ЭВМ «Электроника 60». Он успешно применяется для обработки спектрограмм [7, 8] и для решения задач поверхностной фотометрии галактик.

Основные технические характеристики АМД-1:

- минимальный шаг считывания плотности по обеим координатам 5 мкм;
- диапазон измеряемых плотностей 0—5Д;
- скорость перемещения стола, на котором установлена фотопластинка, до 10 мм/с;
- размер обрабатываемой области до 180×180 мм.

Задача массовой фотометрии на больших полях отличается от задач обработки одиночных спектров и задач поверхностной фотометрии необходимостью преобразования данных в цифровую форму с фотопластинок существенно большего размера (размер обрабатываемого поля для 6-м телескопа до 130×130 мм). Это значительно повышает требования к аппаратуре. В применении к АМД-1 эти требования можно суммировать следующим образом:

- позиционная точность считывания по обеим координатам не хуже 10 мкм;
- фотометрическая точность измерений не хуже 2 % от измеряемой плотности;
- стабильность измерительного фотометрического тракта не хуже 2 % в течение всего времени записи снимка.

**2.2.1. Позиционная точность измерений.** Существенным фактором, определяющим качество оцифрованной информации, является по-

зиционная точность считывания данных с фотографического носителя. Считывание данных производится построчно, для устранения люфтов механики стола считывание производится при движении только в одном направлении (возврат стола в исходные координаты — «холостой» проход). Позиционирование стола на начальные координаты строки считывания производится с точностью не хуже 5 мкм. Таким образом, в течение всего времени считывания (до 15 ч непрерывной работы для снимков  $120 \times 120$  мм) сохраняется прямоугольность координатной сетки считывания. Особенности блока управления координат АМД-1 не позволяют контролировать перемещения стола прибора внутри коридора шириной 5 мкм, в связи с этим получить позиционную точность лучше 5 мкм принципиально невозможно.

Алгоритм управления прибором построен так, что программа каждые 5 мкм проверяет, находится ли стол в пределах заданного коридора координат; если условие не выполняется, считывание очередного элемента не производится, стол возвращается в точку предыдущего считывания и делается новая попытка считывания элемента изображения. Если сбой движения стола был настолько велик, что программа не смогла вернуть стол в точку считывания предыдущего элемента с требуемой точностью, стол прибора возвращается к началу строки, производится позиционирование стола на начальные координаты строки и считывание повторяется. Такие сбои регистрируются программой и по окончании считывания снимка сообщаются оператору в протоколе записи снимка. Число сбоев за время записи является характеристикой технического состояния аппаратуры. Следует отметить, что работа алгоритма позиционирования не зависит от заданного шага считывания плотности.

Оценка позиционной точности измерений, произведенных по описанной методике, осуществлялась в двух вариантах, на полях размером  $25 \times 25$  мм (снимки, полученные с фокальным редуктором обсерватории Haut Provence, установленном в первичном фокусе БТА) и на поле размером  $120 \times 120$  мм (прямой снимок 6-м телескопа). В первом случае сравнивались две записи одного и того же снимка, сделанные в разное время (с интервалом в полгода). После выделения объектов и расчета их параметров для обеих записей сделано аффинное преобразование одной координатной сетки к другой (разная установка снимков). Среднеквадратическое отклонение координат объектов двух разных записей не превысило 7 мкм. Во втором случае координаты объектов, выделенные после обработки, сравнивались с координатами тех же объектов, измеренных на измерительной машине Ascorecord. Для слабых звездообразных объектов (эти объекты были выбраны для уменьшения ошибок ручного наведения на объект) среднеквадратическое отклонение не превысило 10 мкм.

**2.2.2. Фотометрическая точность измерений.** Фотометрическая точность измерений в процессе считывания не только является важным параметром состояния аппаратуры считывания данных, но и предохраняет нас от длительной обработки данных низкого качества. В процессе считывания данных с фотоносителя через каждые  $n$  заданных оператором строк считывания данных производится считывание «стандартной» площадки  $64 \times 4$  элементов записи (координаты «стандартной» площадки задаются оператором перед началом считывания) и вычисляется среднее значение плотности на этой площадке. Это значение входит в протокол записи считывания данных и позволяет во время считывания данных оценить состояние фотометрической части аппаратуры, а по окончании записи — фотометрическую точность измерений. Если во время записи значения средней плотности изменились больше чем на 2 %, считанные данные бракуются и производится повторное считывание данных.

Описанные выше основные принципы преобразования данных с фотоносителя в цифровую форму позволяют получать после обработки данных на ЭВМ удовлетворительную фотометрическую и позиционную точность для исследуемых объектов.

**2.3. Структура данных в системе математического обеспечения.** При обработке прямых снимков участков неба в системе используются три основных типа данных.

Н-данные: двумерные матрицы, полученные в результате Хаар-преобразования исходных данных;

L-данные: двумерные матрицы изображений с неравномерным шагом дискретизации, содержащие данные после выделения сигнала;

V-данные: каталоги, содержащие информацию о каждом объекте, выделенном при заданном значении  $\lambda$ .

В набор V-данных для каждого выделенного объекта входят номер объекта в списке, инструментальная звездная величина, координаты центра тяжести объекта, диаметр, эксцентриситет, ориентация большей оси объекта относительно раstra записи, третий и четвертый моменты изображения объекта, средняя поверхностная яркость объекта с элемента изображения.

При обработке спектральных снимков также используются три типа данных.

Н-данные: двумерные матрицы изображений;

V-данные: каталоги, содержащие данные о каждом объекте (номер объекта, координаты положения спектра, дисперсия, начальная длина волны и шаг по шкале длин волн, число каналов в спектре и т. д.);

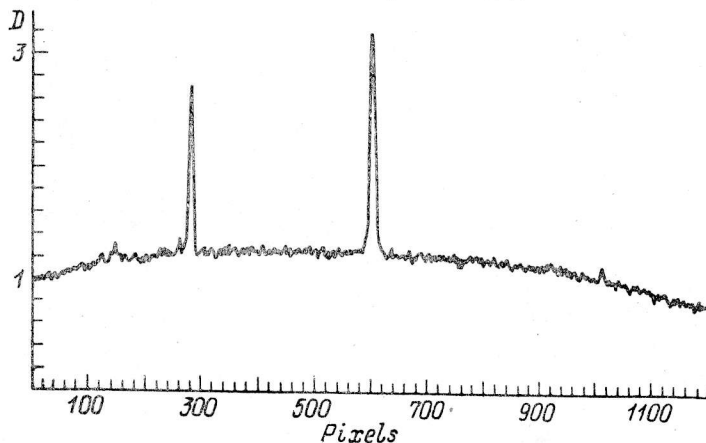


Рис. 3. Фотометрический разрез, сделанный через центр снимка поля М 82 ( $9^{\text{h}}53^{\text{m}}26^{\text{s}} + 69^{\circ}52'25''$ ).

Снимок получен на 6-м телескопе с помощью фокального редуктора ( $F/I$ ) 11.02.83, экспозиция 40 мин, фильтр V.

VS-данные: векторные наборы данных, в которых каждый вектор — спектр объекта, представленный в виде значений интенсивности на заданный интервал длин волн.

Для каждого типа данных существует соответствующий им набор программ, позволяющий производить разнообразные операции с данными: начиная с арифметических для Н-данных (сложение, вычитание, умножение, деление изображений) и кончая идентификацией V-каталогов, полученных для одного поля, например, в разных фильтрах, с заданными боксами совпадений.

**3. Обработка снимков многоцветной фотометрии.** Исследование цветовых характеристик объектов на снимках, полученных с фокальным редуктором, обладает существенными особенностями по сравнению с той же задачей, выполняемой по снимкам, полученным на телескопе системы Шмидта. Оптическая система фокального редуктора обладает значительным виньетированием — 10—15 % на краю поля. На рис. 3 приведен фотометрический разрез, сделанный через центр снимка поля М82 ( $9^{\text{h}}53^{\text{m}}26^{\text{s}} + 69^{\circ}52'25''$ ). Фотометрия объектов, проводимая по стандартной методике [9], в таких условиях возможна лишь в центральной части снимка, где виньетирование мало. Для исследования цветовых характеристик объектов по снимкам, полученным с фокальным редуктором, разработана методика фотометрии на полях с виньетированием. Ниже будут рассмотрены основные моменты этой методики: поиск и выделение объектов, а также расчет параметров выделенных объектов.

**3.1. Поиск и выделение объектов.** Для поиска и выделения объектов с помощью «порогового» теста мы должны задаться некоторым зна-

чением  $\kappa\sigma$ , где  $\sigma$  — стандартное отклонение коэффициентов Хаара в области, свободной от объектов. Однако зависимость шумов фотоэмульсии от плотности и наличие градиента плотности не позволяет нам воспользоваться средним значением  $\sigma$  для всего поля, поэтому алгоритм поиска объектов с помощью «порогового» теста работает в каждой просматриваемой области с локальным значением  $\sigma_L$ , используя значения  $\sigma$ , введенные в программу, лишь как опорную точку. Таким образом, проходя по массиву данных, программа в соответствии с параметрами заданного ей окна корректирует локальное значение  $\sigma_L$ , и лишь после этого в соответствии с «пороговым» тестом выделяются области, содержащие сигнал. Размеры окна, в котором корректируется значение  $\sigma_L$ , тесно связаны с характером градиента плотности (виньетированием), и обработка данных, полученных на разных приборах, возможна при подборе окна, соответствующего характеристикам нового типа данных.

3.2. Расчет параметров выделенных объектов. В области, выделенной «пороговым» тестом, могут находиться один или несколько объектов. Разделение области на несколько объектов осуществляется с помощью заданного контраста разделения объектов, который определяется как отношение максимальной интенсивности в области пересечения объектов к интенсивности объекта меньшей светимости. Если значение контраста выше заданного — объекты сливаются в один, если ниже — разделяются на два объекта. Инструментальная звездная величина объекта определяется как сумма интенсивностей по всем точкам, принадлежащим к объекту, минус сумма интенсивностей фона неба на этой же площади. Граница области, в пределах которой производится вычисление звездной величины объекта, определяется как совокупность точек, значение интенсивности в которых превосходит локальный фон неба на заданную величину (обычно 1—2 %).

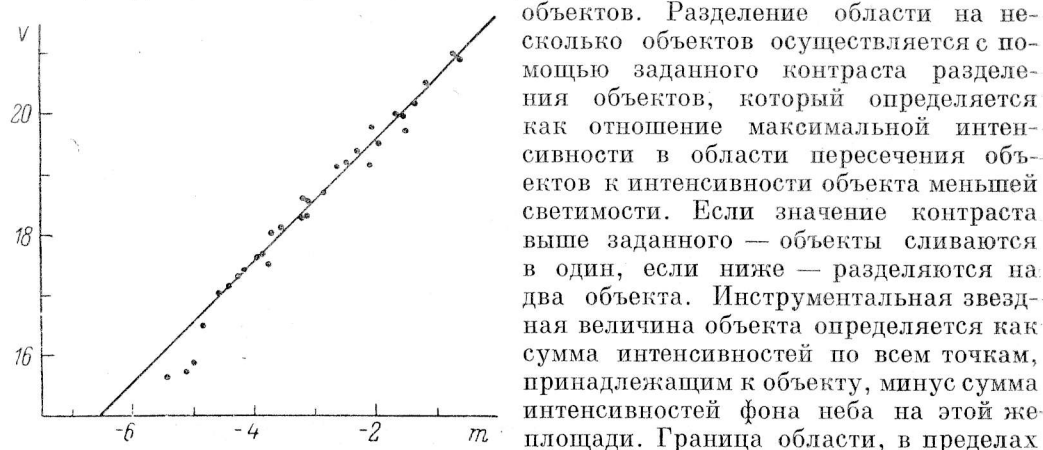


Рис. 4. Зависимость «инструментальная звездная величина—звездная величина  $V$  для поля SA57».

Коэффициент наклона прямой  $b=0.984\pm 0.03$ ;  $V$ -величины взяты из работы [10].

Перед вычислением звездной величины объекта определяется локальный фон неба. Так как существуют градиенты интенсивности фона неба (виньетирование), то использование среднего значения фона неба внесет фотометрические ошибки. Поэтому методом последовательного построения гистограмм распределения интенсивности в области, окружающей объект, определяются точки, принадлежащие к фону неба. Через эти точки методом наименьших квадратов «натягивается» плоскость, которая в дальнейшем и считается локальным фоном неба для данного объекта.

На рис. 4 приведена зависимость «инструментальная звездная величина—звездная величина в  $V$  (широкополосная система Джонсона)» по данным Шу [10] для снимка поля SA68. Среднеквадратическое отклонение от прямой в диапазоне величин  $17^m0-21^m\Delta m=0^m15$ . На рис. 5 и 6 приведены фотографии поля SA68 и в том же масштабе результат обработки этого снимка с помощью описанного математического обеспечения. Соответственно диаметр окружности, представляющей выделенные объекты, пропорционален звездной величине объекта. Приведены все объекты с  $m_B < 22^m$  в  $V$ . По осям отложены координаты объектов.

4. Обработка спектральных снимков. Характер данных, получаемых с помощью полевого многощелевого спектрографа, существенно отличается от данных многоцветной фотометрии. Значительно отличается и методика обработки данных. Так как при изготовлении маски для получения спектральных снимков исследуемого поля становятся известными координаты щелей (диафрагм), то задача выборки форматов спектров (получение VS-данных) из спектрального снимка сводится к приведению этих координат к масштабу спектраль-

ного снимка и выборке соответствующего числа точек вдоль и поперек дисперсии (обычно  $256 \times 5$  точек). Нуль-пункт шкалы длин волн устанавливается по одной из линий спектра ночного неба.

Основные этапы редукиций спектров во многом зависят от типа используемой светоприемной аппаратуры, однако полный набор операции следующий:

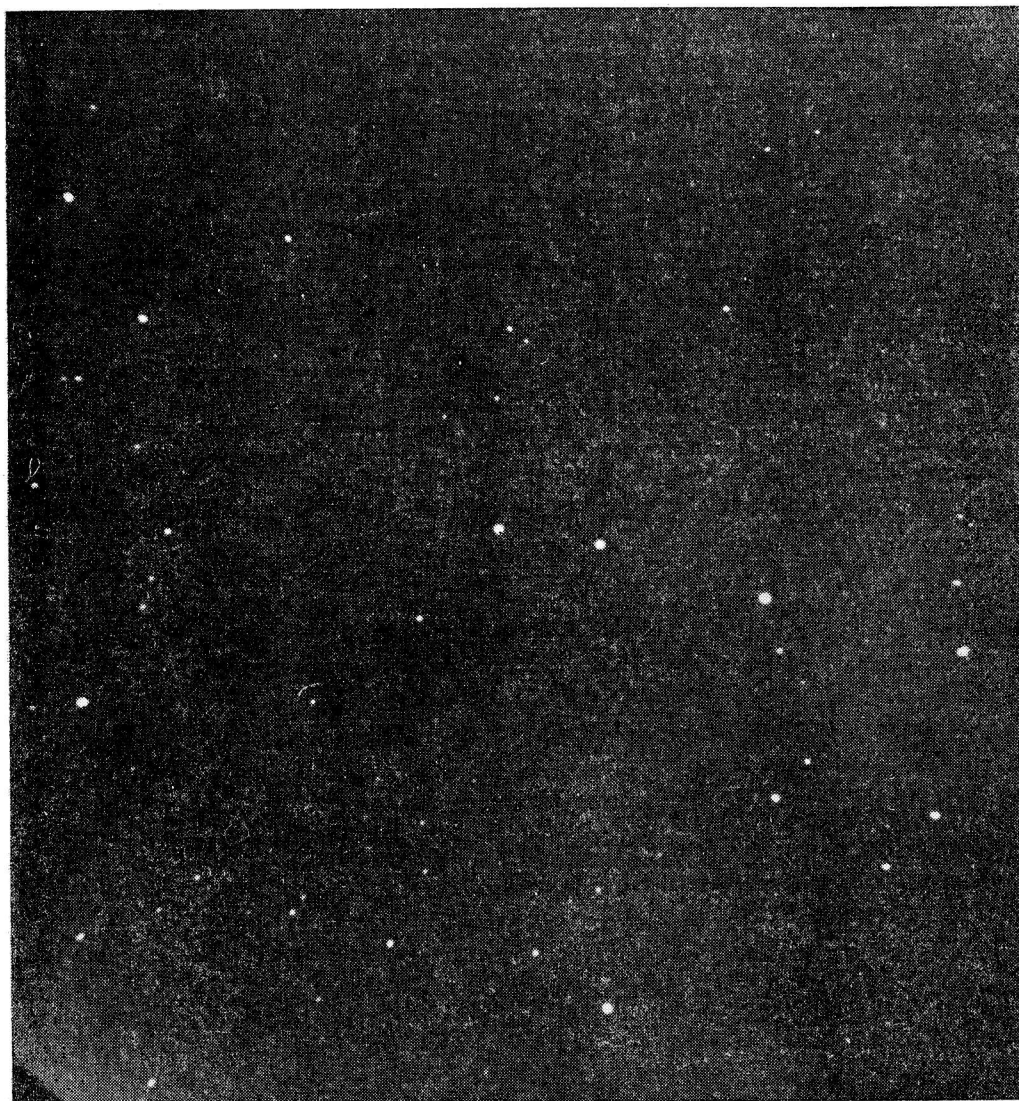


Рис. 5. Отпечаток со снимка поля S A68 ( $00^h 14^m 51^s + 15^\circ 36' 20''$ ), полученного 2.09.83 на 6-м телескопе с помощью фокального редуктора в фильтре В, экспозиция 40 мин.

- исправление локальных и крупномасштабных фотометрических искажений, вносимых светоприемной аппаратурой;
- коррекция геометрических и масштабных искажений, вносимых светоприемной аппаратурой;
- приведение спектров к равномерной шкале длин волн;
- вычитание среднего спектра ночного неба;
- исправление спектров за спектральную чувствительность аппаратуры.

Любой из этапов может быть пропущен. Так, например, для спектральных снимков, полученных с телевизионной системой счета фотонов, первые два шага редукиции используются не всегда.



Первые два шага редукций можно производить, используя как Н-данные, так и VS-данные. Следующие шаги выполняются только для VS-данных, при этом существует возможность работы как с одним спектром, с несколькими спектрами, так и с полным набором спектров из данного спектрального снимка.

Исправление локальных и крупномасштабных фотометрических искажений в варианте Н-данных для телевизионной системы счета фотонов сводится к нормировке обрабатываемого снимка на равномерную засветку. Для обработки данных наблюдений с однокаскадным ЭОП в фотографическом варианте необходимо, предварительно изучив характер виньетирования в системе, сгенерировать поле виньетирования системы, совместив при этом оптический центр обрабатываемого снимка с центром поля виньетирования, и пронормировать

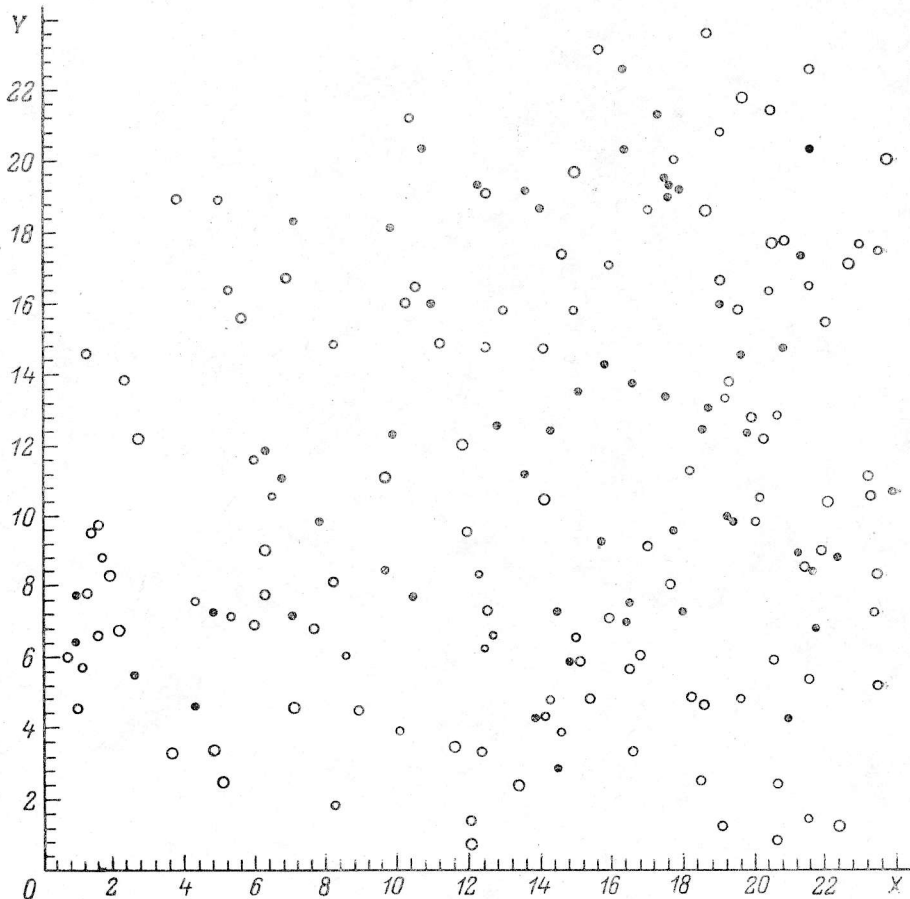


Рис. 6. Карта объектов поля SA68, выделенных со снимка, приведенного на рис. 5.  
Диаметр окружности пропорционален звездной величине объекта.

на него исходные данные. Для VS-данных из V-каталога выбираются координаты спектра и рассчитывается вектор виньетирования для данного положения спектра, затем спектр нормируется на вектор локального виньетирования.

Коррекция геометрических и масштабных искажений в варианте Н-данных может производиться по методике, аналогичной исправлению геометрических искажений для варианта наблюдений с телевизионной системой счета фотонов. Для VS-данных используются линии в спектре ночного неба ( $4340 \text{ \AA}$  Hg,  $5577 \text{ \AA}$  [OI],  $5890 \text{ \AA}$  NaD,  $6300/6360 \text{ \AA}$  [OI]), они выделяются в спектре объекта, рассчитываются их основные параметры, по полученным данным корректируется дисперсия в спектре объекта.

Приведение спектров объектов к равномерной шкале длин волн осуществляется с помощью интерполяции значений интенсивности в спектре объекта на новую шкалу длин волн с заданным шагом и начальной длиной волны.

Средний спектр ночного неба получается усреднением (5—10 спектров) спектров ночного неба, полученных через щели (диафрагмы), специально изготовленные в маске и не содержащие объектов.

Исправление спектров объектов (VS-данные) за спектральную чувствительность аппаратуры производится с помощью кривой спектральной чувствительности, полученной для данной настройки аппаратуры. Кривая спектральной

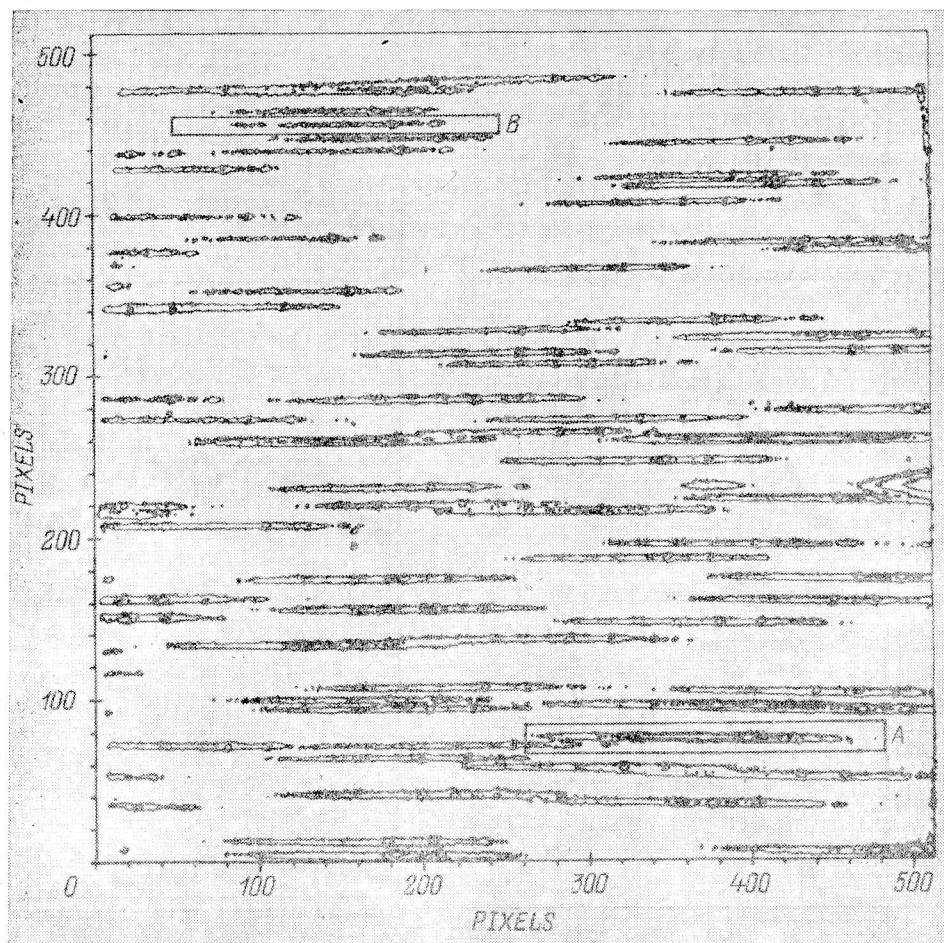


Рис. 7. Изоуровни спектрального снимка поля SA57 ( $13^{\text{h}}06^{\text{m}}03^{\text{s}} + 29^{\circ}36'33''$ ), полученного на 6-м телескопе 14.03.86 с помощью многощелевого полевого спектрографа с телевизионной системой счета фотонов в качестве детектора.

Экспозиция 100 мин. Данные исправлены за геометрические и масштабные искажения, внесенные телевизионной аппаратурой.

чувствительности аппаратуры определяется по наблюдениям звезд с известным спектральным распределением в течение каждого сета наблюдений несколько раз.

На рис. 7 и 8 приведены изоуровни спектрального снимка поля SA57, полученного на БТА 14.03.86, спектры двух объектов и последовательно показаны все основные этапы работы спектральной части системы математического обеспечения.

**Заключение.** Описанная система математического обеспечения обработки результатов наблюдений имеет существенное отличие от всех существующих на

сегодняшний день систем обработки (Midas, IHAP, FODS и т. д.) — в ней используются алгоритмы, позволяющие редуцировать исходный объем данных на два порядка. Это отличие позволило применить при обработке данных ЭВМ с невысоким быстродействием, а появление ЭВМ с высоким быстродействием позволит либо существенно сократить время обработки данных, либо увеличить объем обрабатываемых исходных данных.

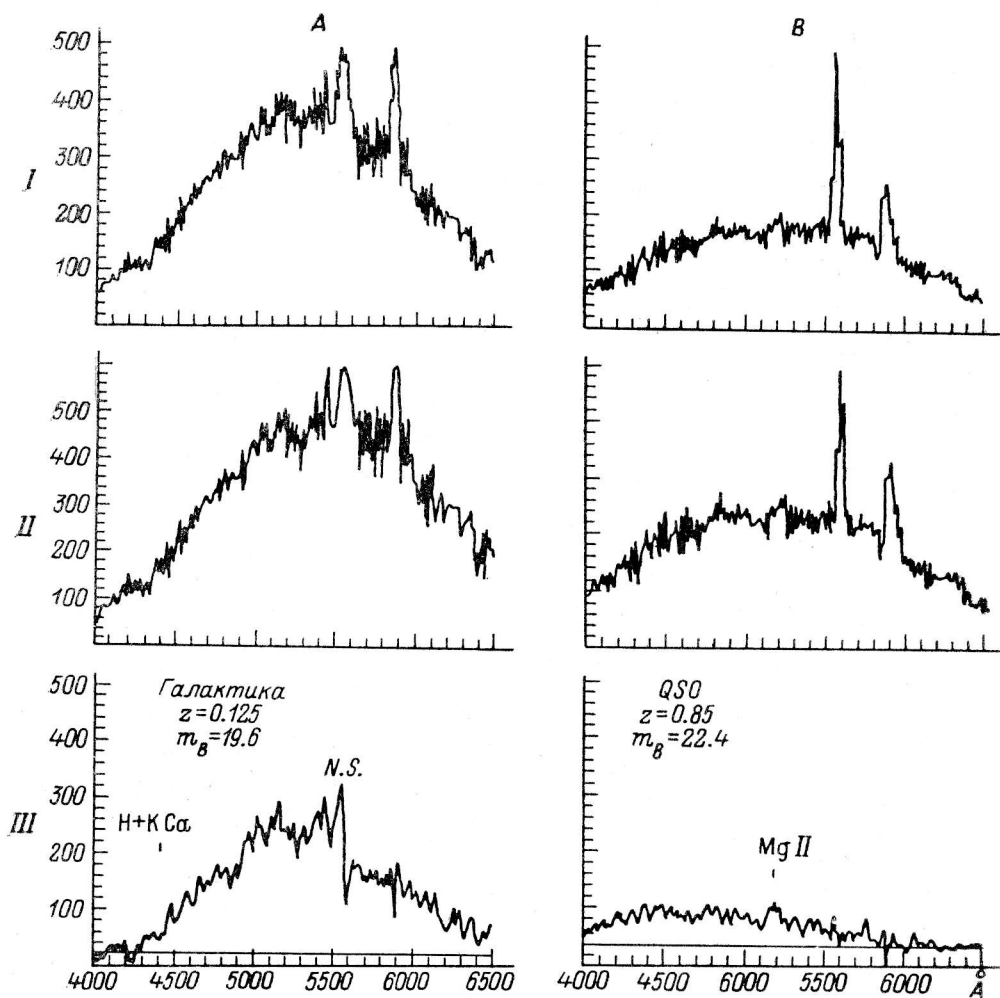


Рис. 8. Этапы работы спектральной части математического обеспечения.

*I* — выделение спектров объектов из исходного набора данных; *II* — спектры объектов после коррекции за виньетирование; *III* — спектры объектов после линейаризации шкалы длин волн и вычитания среднего спектра ночного неба. Работа математического обеспечения продемонстрирована на объектах А и В, обведенных на рис. 7 рамкой.

Все программные модули, входящие в систему математического обеспечения, не зависят от используемой ЭВМ и операционной системы, что позволяет использовать математическое обеспечение на ЭВМ другого типа и архитектуры.

Решение проблемы поиска, выделения и фотометрии объектов на полях с виньетированием существенно расширяет возможности применения математического обеспечения при обработке астрономических снимков и позволяет применять для фотометрии объектов приборы, которые из-за конструктивных особенностей обладают значительным (до 20 % от центра к краю) виньетированием поля, такие как фокальный редуктор, электронографическая камера и т. д.

### Литература

1. Kron R. G. Photometry of a complete sample of faint galaxies // *Ap. J. Suppl. Ser.* 1980. 43. P. 305—325.
2. A scanning microphotometer with an on-line data reduction for large field Schmidt plates / K. Fritze, M. Lange, G. Möstl et al. // *Astr. Nachr.* 1977. 298, H. 4. P. 189—196.
3. Наар А. // *Math. Ann.* 1910. 69. P. 331.
4. Гришин М. П. Автоматическая обработка фотографических изображений с применением ЭВМ. Минск: Наука и техника, 1976.
5. Automated analysis of objective-prism spectra. I: Quasar detection / P. C. Hewett, M. J. Irwin, P. Buclark et al. // *MNRAS.* 1985. 213. P. 974—989.
6. Slowes R. G., Cooke J. A., Beard S. H. Automated quasar detection // *MNRAS.* 1984. 207. P. 99—105.
7. Буренкова О. С., Коровяковская А. А., Назаренко И. И. Система сканирования и предварительной обработки спектров на фотометрическом комплексе САО АН СССР // *Астрофиз. исслед. (Изв. САО).* 1982. 16. С. 108—115.
8. Додонов С. Н. Автоматическое считывание спектрограмм на фотометрическом комплексе САО АН СССР // *Астрофиз. исслед. (Изв. САО).* 1985. 20. С. 157—161.
9. Методы исследования переменных звезд: Сб. ст. Л.: Наука, 1974. С. 104—110.
10. Shiv L.-T. G. Classification of stellar populations and luminosity classes from accurate proper motions.

Поступила в редакцию 13 июля 1987 г.