

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ГЛАВНАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

Астрометрия и Астрофизика

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Отдельный оттиск

„НАУКОВА ДУМКА“ КИЕВ

Summary

The article deals with results of testing the experimental television tube isocon coupled with the image intensifier. The threshold sensitivity of the image isocon is 1.5^m-2^m higher than that of the image orthicon ЛИ-217. The working range of the brightness of the image isocon is equal to 100:1 (at the maximum sensitivity). The high threshold and contrast sensitivities make it possible to use the image isocon successfully for observations of the faint stars and the low-contrast objects.

УДК 535.81

В. А. Кришталь, С. Г. Кузьменков, В. Г. Черный

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО КОГЕРЕНТНО-ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В основе математических и технических методов когерентно-оптической обработки изображений лежит возможность представления системы, формирующей изображение, как фильтра пространственных частот, который характеризуется аппаратной функцией $g(x-x', y-y')$ [4]. При этом связь между искомым и измеренным распределением яркости в плоскости изображения будет представлена уравнением свертки [3]

$$F(x, y) = \iint f(x', y') g(x-x', y-y') dx' dy' + N(x, y), \quad (1)$$

где $F(x, y)$ — измеренное распределение яркости в плоскости изображения; $f(x, y)$ — искомое распределение яркости по объекту; $N(x, y)$ — случайные отклонения в измеренной яркости (шум); $g(x-x', y-y')$ — аппаратная функция оптической системы, зависящая только от разности координат, но не от самих координат.

Используя когерентно-оптические методы, можно создать аналоговую установку, решающую уравнение (1) относительно $f(x, y)$ [2, 5]. Подавая на вход такой установки изображение $F(x, y)$, получим на выходе изображение, близкое к $f(x, y)$ по выбранному критерию, например, близкое в смысле среднеквадратичного отклонения. Преобразование Фурье (в дальнейшем обозначается знаком \sim над буквой) переводит интегральное уравнение (1) в алгебраическое:

$$\tilde{F}(\omega_x, \omega_y) = \tilde{f}(\omega_x, \omega_y) \cdot \tilde{g}(\omega_x, \omega_y) + \tilde{N}(\omega_x, \omega_y), \quad (2)$$

где ω_x, ω_y — пространственные частоты. Отсюда, если пренебречь шумом,

$$\tilde{f}(\omega_x, \omega_y) = \frac{\tilde{F}(\omega_x, \omega_y)}{\tilde{g}(\omega_x, \omega_y)}, \quad (3)$$

т. е. операция «восстановления» $\tilde{f}(\omega_x, \omega_y)$ сводится к построению фильтра $\tilde{D}(\omega_x, \omega_y) = [\tilde{g}(\omega_x, \omega_y)]^{-1}$. Одна из возможных схем для обработки изображений, которая была использована в наших экспериментах, приведена на рис. 1.

Работа установки осуществляется следующим способом; расходящийся пучок когерентного света, образованный узлом формирования S ,

падает на переднюю поверхность кюветы-объектива Q_1 , внутри которой размещен в иммерсионной жидкости транспарант T_1 с заданным амплитудным коэффициентом пропускания — исходное изображение $F(x, y)$. В плоскости Φ_1 с точностью до фазового множителя распределение амплитуд поля пропорционально преобразованию Фурье от распределения поля в плоскости T_1 . В плоскости Φ_1 находится кювета Q_2 с транспарантами, которые играют роль фильтров пространственных частот. В этой плоскости происходит перемножение исходного спектра $\tilde{F}(\omega_x, \omega_y)$ с построенным фотографически, голографически или иным способом фильтром $\tilde{D}(\omega_x, \omega_y)$. Иногда целесообразно перейти к двухступенчатой схеме фильтрации, при которой возможна обработка изображения в двух спектральных плоскостях. Для этого в плоскости T_2 — плоскости изображения, формируемого второй кюветой,

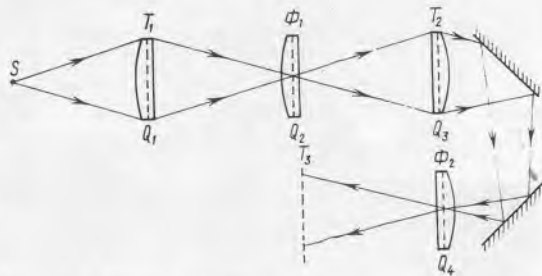


Рис. 1. Схема когерентно-оптической установки.

располагается третий объектив Q_3 , перефокусирующий плоскость Φ_1 в плоскость Φ_2 , где расположена кювета-объектив Q_4 . В последней размещаются пространственные фильтры, их амплитудные или фазовые компоненты. Окончательно обработанное изображение регистрируется в плоскости T_3 . Расстояние между всеми оптическими элементами одинаковы и равны двойному фокусному. Световой диаметр кю-

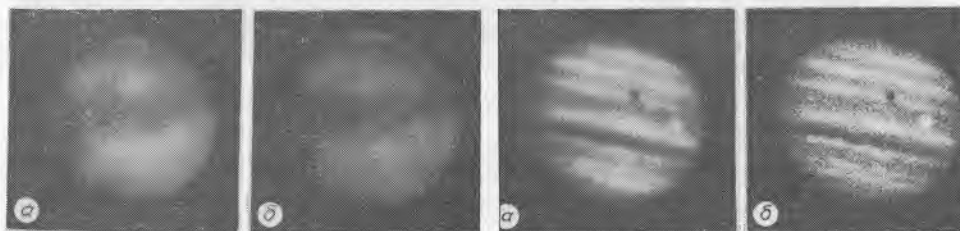


Рис. 2. Результат оптической фильтрации изображения Марса:
а — исходное, б — обработанное изображение.

Рис. 3. Результат оптической фильтрации изображения Юпитера:
а — исходное, б — обработанное изображение.

вет 245 мм, что позволяет обрабатывать кадр размером 180×180 мм при максимальной пространственной частоте 30 лин/мм. Общая длина оптического тракта 30 м.

Обработка астрономических изображений, полученных наземными методами, имеет свои особенности [1], поскольку искажение изображений определяется не столько аберрациями телескопа, сколько в основном прохождением света через турбулентную среду (земную атмосферу). В этом случае ядро $g(x-x', y-y')$ в уравнении (1) является случайной функцией со средним значением, которое можно найти как среднее распределение яркости по изображению звезды.

В данном случае предполагался гауссов характер замытия. При этом изготовлялся фильтр, который эффективно перераспределяет интенсивности спектральных компонент вблизи нулевой частоты пропор-

ционально $\exp \alpha(\omega_x^2 + \omega_y^2)$, где α определяется величиной атмосферного замытия. Объектом восстановления служило суммарное изображение Марса (рис. 2, а), полученное на телескопе АЗТ-8. Суммирование было

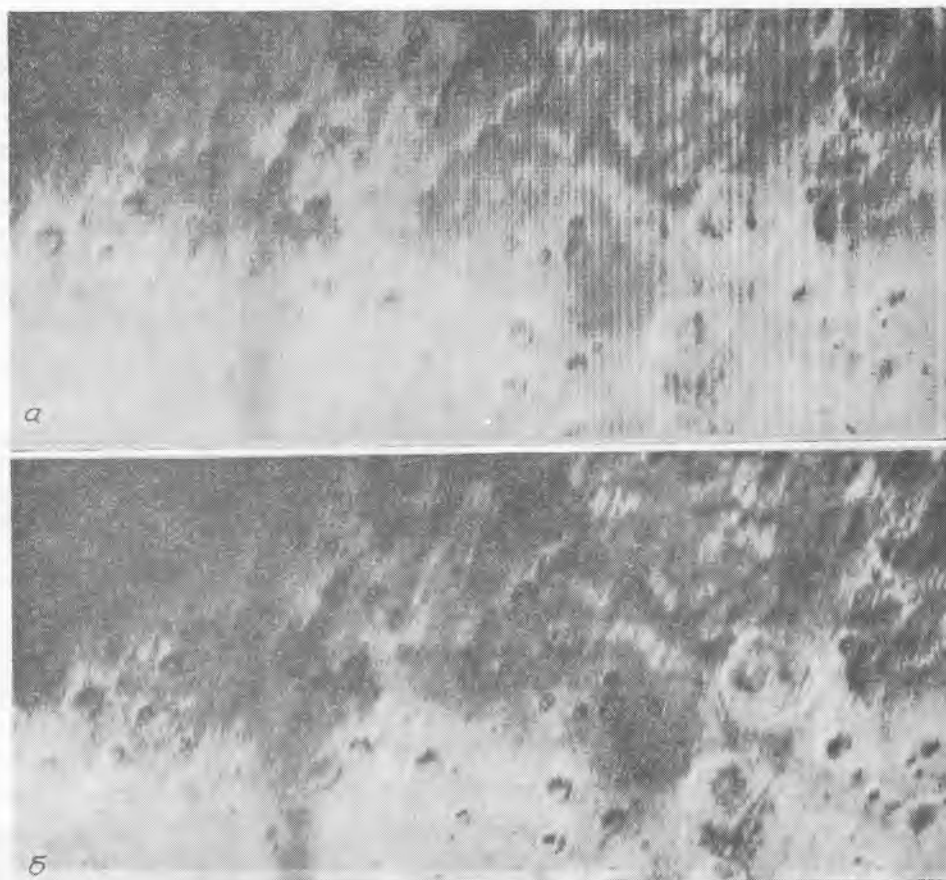


Рис. 4. Результат обработки телефотометрического снимка поверхности Марса: а — исходное, б — обработанное изображение.

необходимо для устранения зернистой структуры фотографического изображения, поскольку когерентно-оптический процессор оперирует с функцией плотности зерен. Появление шума на восстановленном изображении (рис. 2, б) определяется недостаточностью усреднения (суммировалось 20 одиночных снимков планеты). На рис. 3 представлен результат спектральной коррекции применительно к одиночному снимку Юпитера. Исследования показали, что при планировании фотографического эксперимента необходимо предусматривать применение когерентно-оптической обработки (если таковая предвидится) практически на всех этапах: при выборе фотографического материала, процесса проявления и фиксации фотоизображения, расчете частотно-контрастной характеристики оптической системы, затвора, экспозиции, погрешности часового ведения, а также принимать во внимание оптические свойства самого объекта съемки.

Представляет интерес обработка снимков Марса, полученных станцией «Марс-5». Телевизионные панорамы поверхности планеты предназначались в основном для визуального анализа и дешифрирования элементов поверхности планеты. Они содержали ряд помех, затрудняющих визуальное восприятие подробностей рельефа: изменение яркости от строки к строке, нерегулярное мерцание и периодические помехи вдоль строки. Качество обработки в данном случае оценивалось по зрительному впечатлению от панорам, т. е. по тому, насколько легко было выполнять визуальное дешифрирование объектов. Фильтрация про-

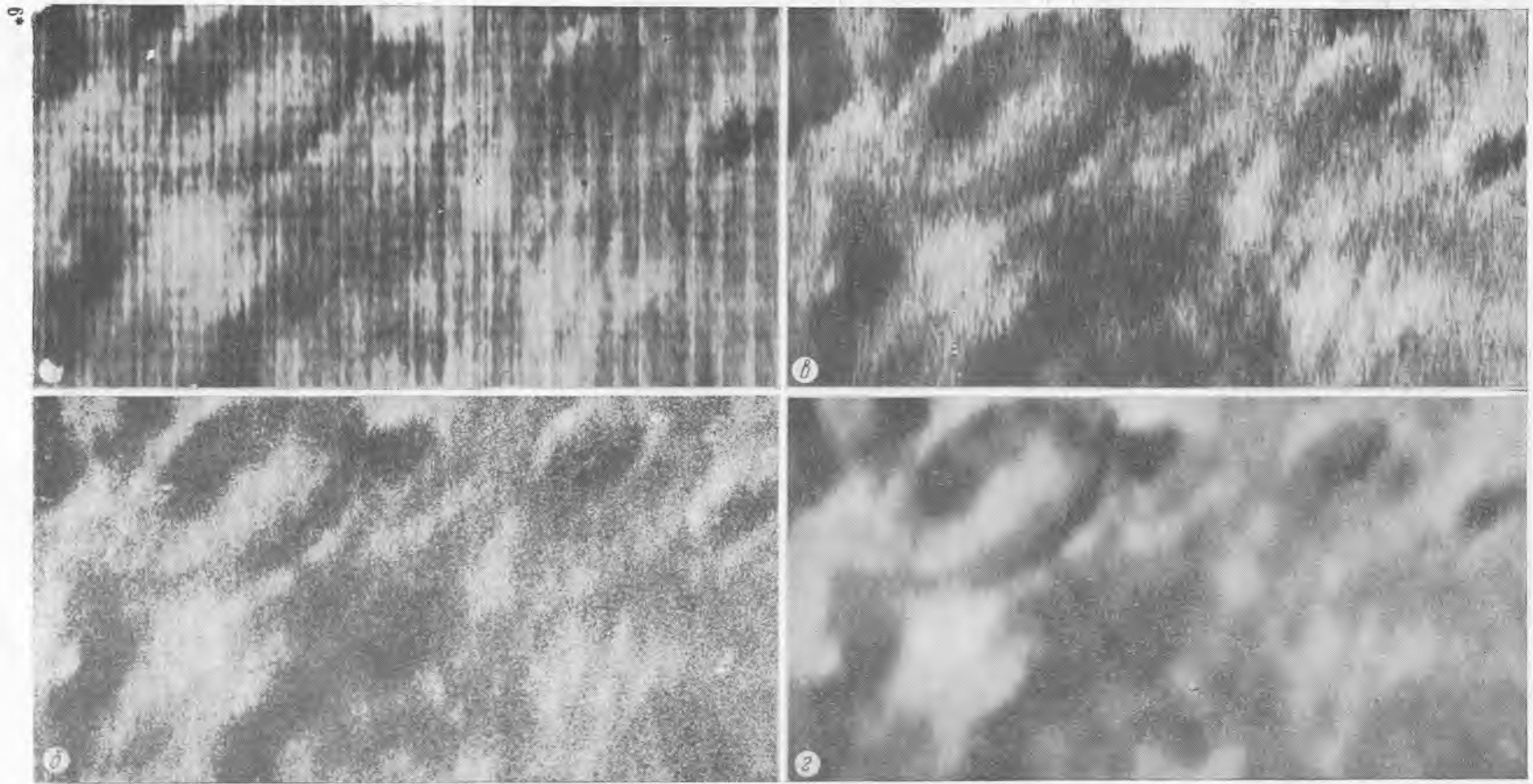


Рис. 5. Влияние различных алгоритмов обработки на микроструктуру изображения:
а — фрагмент исходного изображения, б — через фильтр вида (4), в — через режекторный фильтр помех на низких частотах с коррекцией нулевой частоты,
г — результат применения режекторного фильтра помех с аподизацией.

водилась следующим образом. На основании анализа пространственных спектров космических изображений поверхностей, близких к марсианской, было сделано предположение о возможном поведении огибающей спектра неискаженного телефотометрического снимка Марса. На установке изготавливалась маска, пропускание которой в частотной плоскости было обратно пропорционально мощности спектра $|\tilde{s}(\omega_x, \omega_y)|$ «идеального» снимка. Через эту маску фотографировался спектр оригинальной панорамы, и полученный негатив

$$\tilde{D}(\omega_x, \omega_y) = \frac{|\tilde{s}(\omega_x, \omega_y)|}{|F(\omega_x, \omega_y)|} \quad (4)$$

служил фильтром пространственных частот при обработке этого же снимка. Результат фильтрации представлен на рис. 4, а; 5, б. Аналогичная методика была применена при обработке панорам облачного слоя Венеры, полученных с борта станции «Венера-10». Описанный алгоритм обработки является одним из возможных. На рис. 5 показано влияние различных способов обработки на микроструктуру изображения, что дает возможность судить о причинах выбора того или иного алгоритма, если критерием является зрительное восприятие.

Как показали опыты с изображениями модельных и астрономических объектов, полученных разными техническими средствами, алгоритм обработки изображения определяется не только знанием статистических свойств собственно объекта, устройства формирования и передачи изображения, статистикой шумов, но во многом также целью фотографического эксперимента, будь то фотометрия, фотограмметрия, визуальное дешифрирование и пр. С этих же позиций необходимо выбирать и критерии обработки, критерии качества изображения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дудинов В. Н., Цветкова В. С., Криштал В. А., Хованский Н. А. Обработка астрономических изображений методами когерентной оптики. — Вестн. Харьк. ун-та. Астрономия, 1974, вып. 9, с. 18—28.
2. Кондратенков Г. С. Обработка информации когерентными оптическими системами. — М.: Сов. радио, 1972. — 206 с.
3. Мандельштам Л. И. Полное собрание трудов. — М.: Изд-во АН СССР, 1948. — Т. 1. 230 с.
4. Марешаль А., Франсон М. Структура оптического изображения. Дифракционная теория и влияние когерентности света. — М.: Мир, 1964. — 296 с.
5. Престон К. Когерентные оптические вычислительные машины. — М.: Мир, 1974. — 399 с.

Харьковский государственный университет

Поступила в редколлегию
19.06.77, после
исправления — 16.09.77

V. A. KRISHTAL', S. G. KUZMENKOV, V. G. CHERNYI

EXPERIMENTS ON COHERENT OPTICAL PROCESSING OF ASTRONOMICAL IMAGES

Summary

Results of studies on optical filtration of cosmic and astronomical images are presented. The optical system and methods of coherent optical data processing are briefly described.