

# ФОТОГАФИРОВАНИЕ ЛУНЫ СО ЗВЕЗДАМИ МЕТОДОМ РАЗДЕЛЕННЫХ ПЛАСТИНОК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОПОРНЫХ ТОЧЕК

Ш. Т. ХАБИБУЛЛИН, Н. Г. РИЗВАНОВ

*Казанский государственный университет, кафедра астрономии, Казань, С.С.С.Р.*

и

Н. Ф. БЫСТРОВ

*Главная астрономическая обсерватория Академии Наук С.С.С.Р., Ленинград, С.С.С.Р.*

(Поступила 19 февраль, 1974 г.)

**Аннотация.** Для определения абсолютных координат лунных объектов путем привязки к звездам предлагается фотографировать Луну методом разделенных пластинок. Дается описание нового метода и формулы редукции пластинок. Для характеристики метода приводится определение положения звезд новым способом.

## 1. Введение

Первые систематические определения координат лунных объектов фотографическим методом были выполнены Ю. Францем. Этим методом он нашел положения 150 кратеров (Franz, 1901). Несколько позже появился каталог С. Сондера 2885 точек (Saunders, 1911). В настоящее время насчитывается около двух десятков каталогов положения лунных объектов, построенных в основном по измерениям снимков Луны, полученных на длиннофокусных рефракторах с большой апертурой. В указанных работах слабым местом является определение постоянных пластинок по точкам самой Луны с известными селенографическими координатами.

Более строгим является способ определения постоянных пластинок по звездам. Редукция пластинок по звездам обеспечивает независимость калибровки снимков Луны от предыдущих селенографических систем, которые к тому же относятся к геометрическому центру Луны, поскольку все они, в конечном счете, имеют в своей основе положение кратера Мёстинг А, выведенное путем измерения края диска. Привязка же к звездам позволяет получать координаты кратеров относительно центра масс Луны с точностью, обеспечиваемой теорией орбитального движения Луны. Однако осуществление этого метода встречает ряд технических трудностей, связанных с необходимостью одновременно фотографировать Луну и звезды на одну пластинку. Эти трудности возрастают в случае использования длиннофокусных рефракторов, которые как правило имеют небольшое поле. Попытки решить задачу калибровки крупномасштабных снимков Луны с помощью звезд для определения координат кратеров стали предприниматься только в последнее время. Так Д. Артур при составлении

каталога 48 опорных кратеров, использовал снимки Луны со звездными следами. Следы звёзд служили для ориентировки координатной системы (Arthur, 1965). В Манчестерском университете М. Моутсолус разработал метод поочерёдного фотографирования звездного поля и Луны. По этому методу при одинаковом часовом угле и склонении на одну пластинку с интервалом около 2 часов фотографируются сначала слабые звезды до  $14^m$  затем Луна (Moutsoulas, 1970).

Методы фотографирования Луны со звездами с помощью заслонки или с помощью камеры Марковица применяются для определения положения Луны. Так как наблюдения этими способами обычно производят с телескопами со средним фокусным расстоянием, то сравнительно небольшие размеры изображения Луны не позволяют на таких снимках с уверенностью определять селенографические координаты кратеров.

Условие одновременного наблюдения Луны и окружающих её слабых звёзд (до  $9^\circ$ – $10^\circ$ ) предъявляет определенные требования к размерам полезного поля объектива. Необходимо, чтобы при значительном масштабе изображения можно было получать достаточное число опорных звёзд. Это осуществимо при поле не менее чем  $2^\circ 5' \times 2^\circ 5'$ .

Наиболее предпочтительным для этой цели явился бы широкоугольный астрограф с фокусом 7–10 м. Практически, полезное поле  $2^\circ 5' \times 2^\circ 5'$  можно получить и с двухлинзовым объективом при соответствующем уменьшении апертуры, правда с некоторым ухудшением разрешающей способности.

В Казани фотографические наблюдения Луны со звездами для селенодезических исследований ведутся на горизонтальном телескопе, двухлинзовый объектив которого имеет  $f=8$  м и  $D=20$  см (Khabibullin, 1958; Rizvanov, 1971). Опыт работы показал, что метод Марковица (Markowitz, 1954) и мгновенных экспозиций (Michailov и Potter, 1957) не дают удовлетворительные результаты на этом телескопе (Rizvanov, 1972). Вследствие большого фокуса, лунный фильтр Марковица должен быть слишком толстым и это вносит нежелательные аберрации. При наблюдениях с заслонкой методом мгновенных экспозиций Луна фотографируется в середине экспозиции звезд с выдержкой  $0^s 1$ – $0^s 2$ , вследствие чего сказывается влияние неравномерности ведения часового привода и атмосферной турбулентности. Изображение Луны случайным образом заметно смещается относительно окружающих звезд. Оценка точности наблюдений показала, что влияние этих факторов соответственно достигает  $1''$  и  $0.5''$  (выборочное среднее квадратичное отклонение).

## 2. Метод Разделенных Пластинок

В 1968 году одним из авторов был предложен новый метод наблюдений Луны со звездами, реализованный в 1969 г. применительно к горизонтальному телескопу (Bistrov, 1972).

Основная идея этого метода заключается в том, что Луна и звезды одновре-

менно фотографируются на разные фотопластины: звезды на высокочувствительную пластинку размером  $300 \times 300$  мм, Луна на малочувствительную размером  $90 \times 90$  мм. Лунная пластинка располагается перед звездной, ближе к объективу на расстоянии 3 мм. Введение оптического компенсатора аналогичного звездному фильтру в приборе Марковица нежелательно, вследствие уменьшения проникающей силы и ухудшения качества изображений звезд. Разность положений пластинок не влияет на качество изображений Луны и звезд. Однако разность масштабов пластинок при обработке измерений учитывается, так как при  $\Delta f = 3$  мм она достигает  $0,01 \text{ мм}^{-1}$ .

Сорта обеих пластинок выбираются опытным путем так, чтобы при равных экспозициях можно было получать наилучшие качества изображений Луны и звезд. В нашем случае хорошие результаты для звезд получаются на сортах Orwo ZU-1, ZU-2 и для Луны Orwo Fu-5, WU-4.

Компенсация суточного движения звезд производится часовым приводом телескопа, поэтому звездная пластинка во время наблюдения остается неподвижной в кассете. Вторая же лунная пластинка для компенсации собственного движения Луны перемещается с соответствующей скоростью относительно звездной пластинки в направлении движения изображения Луны. Для этого кассета снабжена специальным узлом обеспечивающим движение лунной пластинки с точностью до нескольких микрон за 1 минуту. Пластинка может устанавливаться по позиционному углу с точностью до  $3'$ .

Одним из основных в новом способе наблюдений Луны является вопрос взаимной привязки звездной и лунной пластинок. Это производится с помощью системы из 8 калибровочных лампочек жестко связанных между собой и неподвижных относительно звездной пластинки. Лампочки образуют точечные метки диаметром около  $50 \mu$  на эмульсиях обеих пластинок, четыре на звездной, четыре на лунной. Во время наблюдения лампочки периодически зажигаются через 10 секунд. Продолжительность вспышек порядка 0.1 сек. На лунной фотопластинке, вследствие её перемещения, по четырем углам от каждой лампочки получается ряд меток, число которых равняется количеству вспышек. В итоге, на звездной пластинке будет четыре метки, на лунной четыре серии меток. Расстояние между метками в серии зависит от скорости движения лунной пластинки и в среднем составляют 0.16 мм.

На рис. 1 приводится общий вид кассетной части телескопа с задней стороны, на рис. 2 – сбоку. Кассетная часть смонтирована на цилиндре – (1), основание которого укреплено на столбе. С цилиндром соединена платформа – (2), на которой крепится звездная фотопластинка – (3) и посредством кронштейнов – (4) лунная приставка. Платформа может вращаться относительно цилиндра по позиционному углу. Лунная приставка состоит из основания – (5) и подвижной каретки – (6), в которой устанавливается лунная пластинка – (9). В основании приставки находятся осветители – (7) для получения лунных меток. Для изображения Луны в приставке имеется круглое отверстие. Звездные метки создаются осветителями – (8), установленными в основании кронштейнов. Движение ка-

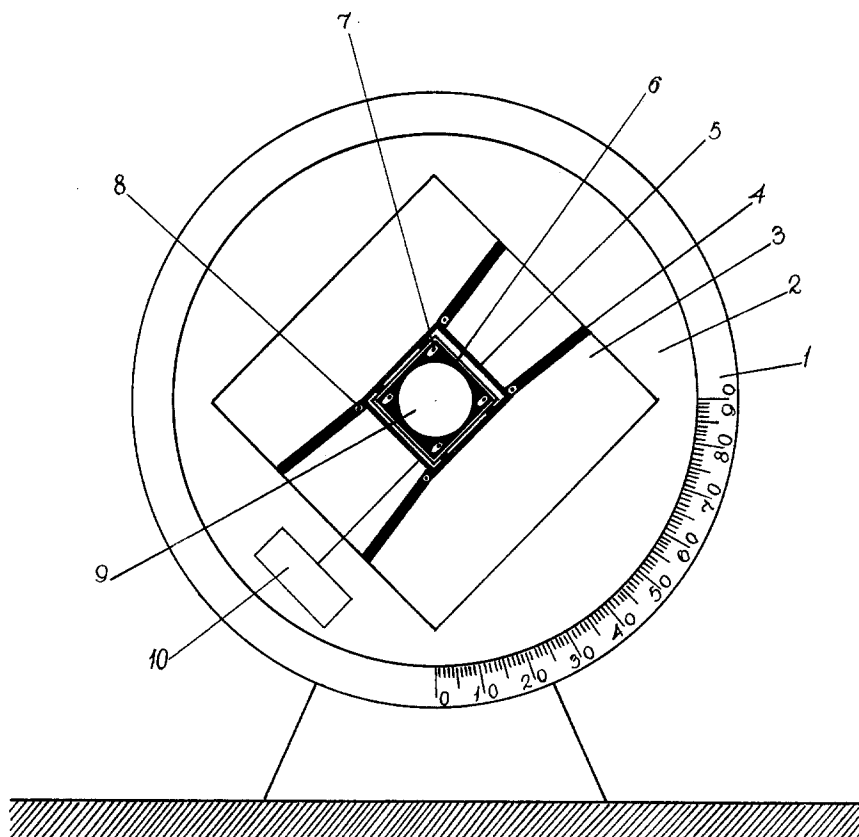


Рис. 1. Общий вид кассетной части телескопа с задней стороны.

ретки осуществляется синхронным двигателем – (10). Двигатель работает от генератора с переменной частотой. Для выполнения наблюдений заранее на ЭЦВМ соответственно скорости движения Луны с учетом изменения параллакса и рефракции через (10) минутный интервал вычисляются частота генератора и позиционный угол поворота платформы. Одновременно вычисляются топоцентрические координаты Луны и их минутные изменения. Чтобы произвести привязку пластинок друг к другу, необходимо найти взаимное расположение меток на лунной и звездной пластинках в единой координатной системе, которую назовем редуцированной.

Определение редуцированных координат меток можно производить несколькими способами. Рассмотрим два из них.

Одновременно на звездную и лунную пластинки фотографируется след яркой экваториальной звезды при двух значениях отсчета позиционного круга кассетной части и впечатываются лунные и звездные метки. Угол поворота приблизительно составляет  $90^\circ$ . Следы звезды позволяют произвести взаимную

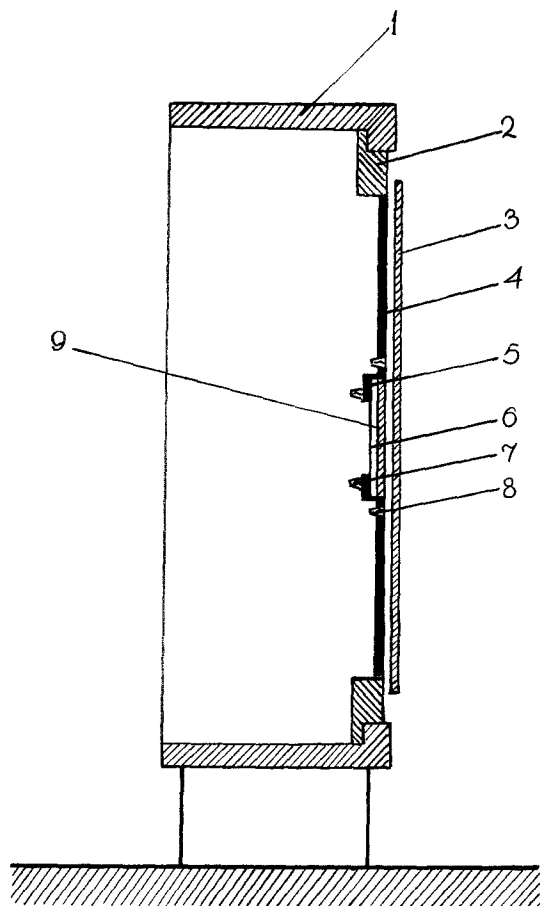


Рис. 2. Вид сбоку.

привязку пластинок и определить редуцированные координаты меток. При этом необходимо чтобы точка пересечения следов звезды располагалась вблизи оптического центра с точностью  $\pm 3$  мм.

На рис. 3 цифрами 1 и 2 соответственно обозначены плоскости звездной и лунной фотопластинок. Буквами  $a, b$  – пересекающиеся следы звезды. По измеренным координатам  $(x, y)$  точек следов методом наименьших квадратов определяются угловые коэффициенты и свободные члены уравнений прямых  $a, b$ .

$$y_1 = k_{a1}x_1 + c_{a1}, \tag{1a}$$

$$y_1 = k_{b1}x_1 + c_{b1}, \tag{1b}$$

на звездной пластинке (индекс 1) и

$$y_2 = k_{a2}x_2 + c_{a2}, \tag{2a}$$

$$y_2 = k_{b2}x_2 + c_{b2}, \tag{2b}$$

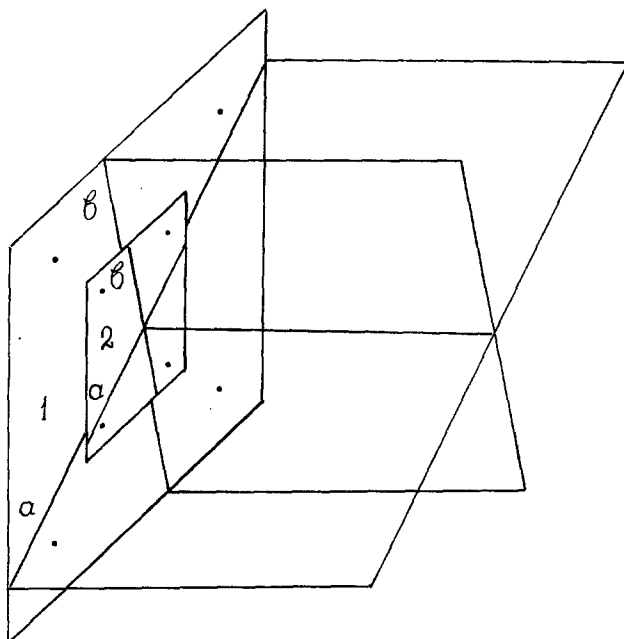


Рис. 3. Связь пластинок с помощью следов звезд.

на лунной пластинке (индекс 2). По этим уравнениям находятся точки пересечения прямых на каждой пластинке. Далее вычисляются уравнения прямых, проходящие через эти точки перпендикулярно к одной из прямых, например  $a$ .

$$y_1 = -\frac{1}{k_{a1}} x_1 + d_{a1} \quad (3)$$

для звездной пластинки и

$$y_2 = -\frac{1}{k_{a2}} x_2 + d_{a2} \quad (4)$$

для лунной пластинки. Уравнения (1а), (3) и (2а), (4) принимаются за редуцированные системы координат, относительно которых известным методом аналитической геометрии вычисляются положения меток  $(X_{1i}, Y_{1i})$  на звездной пластинке и  $(X_{2i}, Y_{2i})$  на лунной ( $i=1, 2, 3, 4$ ).

При втором способе одновременно на звездную и лунную пластинки фотографируется область богатая звездами. Так как координаты оптического центра  $(\alpha_0, \delta_0)$  для обеих пластинок одинаковы, стандартные координаты звезд на них относятся к одной системе, следовательно стандартные координаты меток также будут относиться к одной системе. Пусть  $(x_{1i}, y_{1i})$  и  $(x_s, y_s)$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ;  $S=6, 7, \dots, n$ ), измеренные координаты меток и звезд на звездной пластинке,  $(x_{2i}, y_{2i})$  и  $(x_r, y_r)$ , ( $r=6, 7, \dots, m$ ) соответственно измеренные координаты меток и звезд на лунной пластинке.

По сферическим координатам  $(\alpha_s, \delta_s)$  звезд на звездной пластинке и  $(\alpha_r, \delta_r)$  звезд на лунной пластинке и общем для обеих пластинок координат оптического центра  $(\alpha_0, \delta_0)$  вычисляются стандартные координаты звезд  $(X_s, Y_s)$  и  $(X_r, Y_r)$ . Затем находятся постоянные пластинки  $a, b, c, d, e, f$  по методу Тернера

$$\begin{aligned} a_1 x_s + b_1 y_s + c_1 &= X_s, \\ d_1 x_s + e_1 y_s + f_1 &= Y_s; \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} a_2 x_r + b_2 y_r + c_2 &= X_r, \\ d_2 x_r + e_2 y_r + f_2 &= Y_r. \end{aligned} \tag{6}$$

Тогда стандартные и следовательно редуцированные координаты меток определяются выражениями

$$\begin{aligned} X_{1i} &= a_1 x_{1i} + b_1 y_{1i} + c_1, \\ Y_{1i} &= d_1 x_{1i} + e_1 y_{1i} + f_1, \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} X_{2i} &= a_2 x_{2i} + b_2 y_{2i} + c_2, \\ Y_{2i} &= d_2 x_{2i} + e_2 y_{2i} + f_2. \end{aligned} \tag{8}$$

После установления положения меток лунной и звездной пластинок в единой системе координат, переход от системы измеренных координат на лунной пластинке к системе измеренных координат на звездной пластинке производится следующим образом.

Пусть  $(x_*, y_*)$  и  $(x_{1i}, y_{1i})$  координаты опорных звезд и меток на звездной пластинке. Координаты лунных объектов и меток, измеренные на лунной пластинке обозначим соответственно через  $(x_{1j}, y_{1j})$  и  $(x_{2i}, y_{2i})$ ,  $(j=1, 2, \dots, l)$ . Поскольку редуцированные координаты меток известны, можно найти связь их с измеренными координатами. Для звездной пластинки эту связь установим в форме:

$$\begin{aligned} x_{1i} &= a_{11} X_{1i} + a_{12} Y_{1i} + a_{13}, \\ y_{1i} &= a_{21} X_{1i} + a_{22} Y_{1i} + a_{23}. \end{aligned} \tag{9}$$

Коэффициенты этих условных уравнений, определяемые методом наименьших квадратов, служат для вычисления координат лунных меток в системе измерений звездной пластинки:

$$\begin{aligned} \bar{x}_{1i} &= a_{11} X_{2i} + a_{12} Y_{2i} + a_{13}, \\ \bar{y}_{1i} &= a_{21} X_{2i} + a_{22} Y_{2i} + a_{23}. \end{aligned} \tag{10}$$

Теперь можно установить связь между системами измеренных координат звездной и лунной пластинок:

$$\begin{aligned} \bar{x}_{1i} &= b_{11} X_{2i} + b_{12} Y_{2i} + b_{13}, \\ \bar{y}_{1i} &= b_{21} X_{2i} + b_{22} Y_{2i} + b_{23}. \end{aligned} \tag{11}$$

Найденные отсюда постоянные  $b_{pq}$  ( $p=1, 2; q=1, 2, 3$ ) позволяют редуцировать координаты  $(x_{qj}, y_{qj})$  в систему координат звездной пластинки:

$$\begin{aligned}\bar{x}_{qj} &= b_{11}x_{qj} + b_{12}y_{qj} + b_{13}, \\ \bar{y}_{qj} &= b_{21}x_{qj} + b_{22}y_{qj} + b_{23}.\end{aligned}\quad (12)$$

Далее, как обычно, по измеренным координатам опорных звезд определяются постоянные звездной пластинки.

Преобразование координат лунной пластинки в систему звездной пластинки можно произвести несколько иным способом. Определим зависимость:

$$\begin{aligned}X_{2i} &= c_{11}x_{2i} + c_{12}y_{2i} + c_{13}, \\ Y_{2i} &= c_{21}x_{2i} + c_{22}y_{2i} + c_{23}.\end{aligned}\quad (13)$$

Тогда координаты лунных объектов в системе  $X_2Y_2$  будут:

$$\begin{aligned}X_{2qj} &= c_{11}x_{qj} + c_{12}y_{qj} + c_{13}, \\ Y_{2qj} &= c_{21}x_{qj} + c_{22}y_{qj} + c_{23}.\end{aligned}\quad (14)$$

Подставив значения  $X_{2qj}, Y_{2qj}$  в формулы (9) получим выражения для определения  $\bar{x}_{qj}, \bar{y}_{qj}$ :

$$\text{where} \quad \begin{aligned}\bar{x}_{qj} &= d_{11}x_{qj} + d_{12}y_{qj} + d_{13}, \\ \bar{y}_{qj} &= d_{21}x_{qj} + d_{22}y_{qj} + d_{23},\end{aligned}\quad (15)$$

где  $\alpha_{pq} = a_{p1}c_{1q} + a_{p2}c_{2q} + a_{p3}$ ; при  $q=1, 2, a_{p3}=0$ .

Что касается обработки наблюдений, нами была принята следующая схема:

(1) Прежде всего для каждой пластинки производятся вычисления приближенных координат кратеров (эфемериды) в системе данного измерительного прибора. Без этих эфемерид отождествление кратеров практически невозможно. Вычисления производятся по специально составленной программе на ЭЦВМ.

(2) Далее производится измерение опорных звезд и кратеров.

(3) Вычисления же наблюдаемых координат кратеров выполняются в такой последовательности:

- (а) вычисляются стандартные координаты опорных звезд в эпохе наблюдения;
- (б) определяются константы пластинки по методу Тернера;
- (с) производится редукция измеренных координат кратеров к системе звездной пластинки;
- (д) вычисляются стандартные координаты кратеров;
- (е) находятся наблюдаемые топоцентрические координаты кратеров.

Конечной целью обработки является получение абсолютных селенографических координат кратеров, отнесенных к центру массы Луны.

На рисунках 4 и 5 приводятся фотографии звездной и лунной пластинок. Время наблюдения: 1970 г., ноябрь, 13.86. Экспозиция 20 сек. Звезды фотографировались на пластинках Kodak Oa-O, Луна на пластинках Orwo FU-5. Эфе-



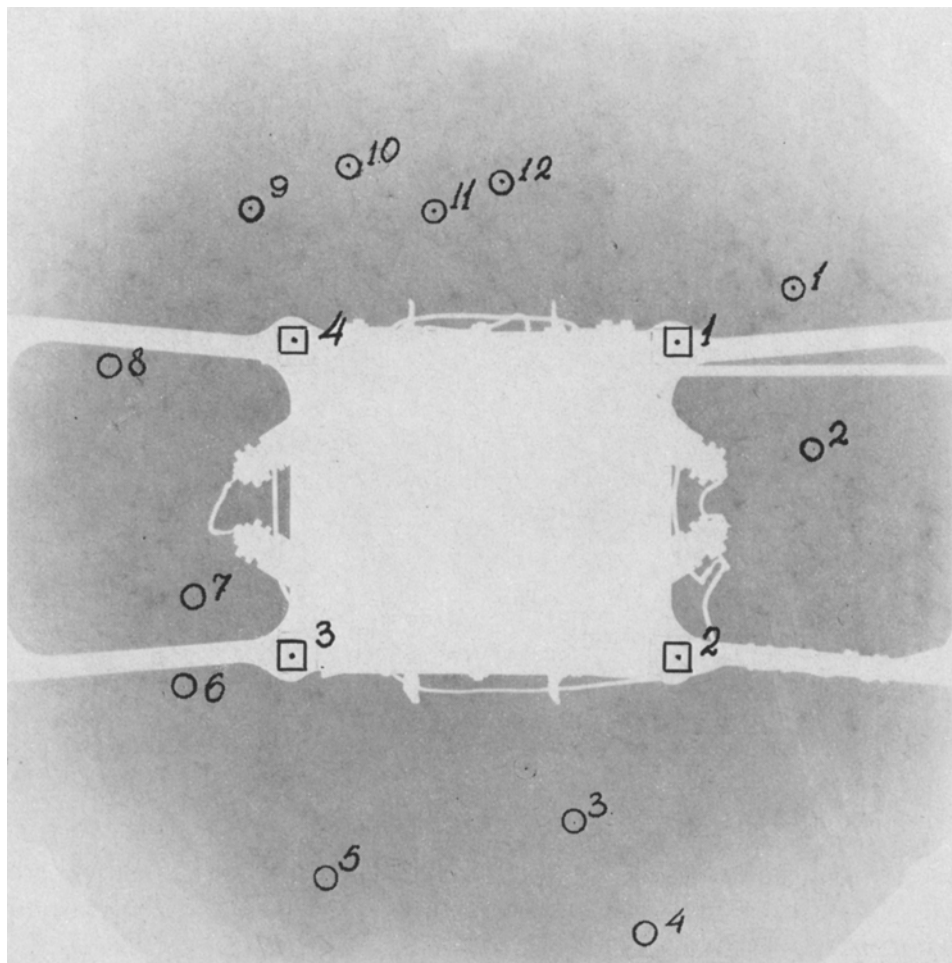


Рис. 4. Звездная пластинка.

меридные топоцентрические значения экваториальных координат, либрации и радиуса Луны для момента наблюдения следующие:

$$\begin{aligned} \alpha' &= 3^{\text{h}}39^{\text{m}}12^{\text{s}}.296, & \delta' &= 24^{\circ}23'32''.17, \\ l'' &= 5^{\circ}20', & b'' &= -6^{\circ}28', \\ C'' &= -13^{\circ}32', & R' &= 969''.93. \end{aligned}$$

Фотография с негативным изображением звездной пластинки дана в масштабе 1:3. В центре пластинки белый квадрат, являющийся проекцией лунной камеры. По углам квадрата расположены метки. Изображения звезд обведены кружками. Нумерация звезд на пластинке произвольная. Номера звезд в системе ВД

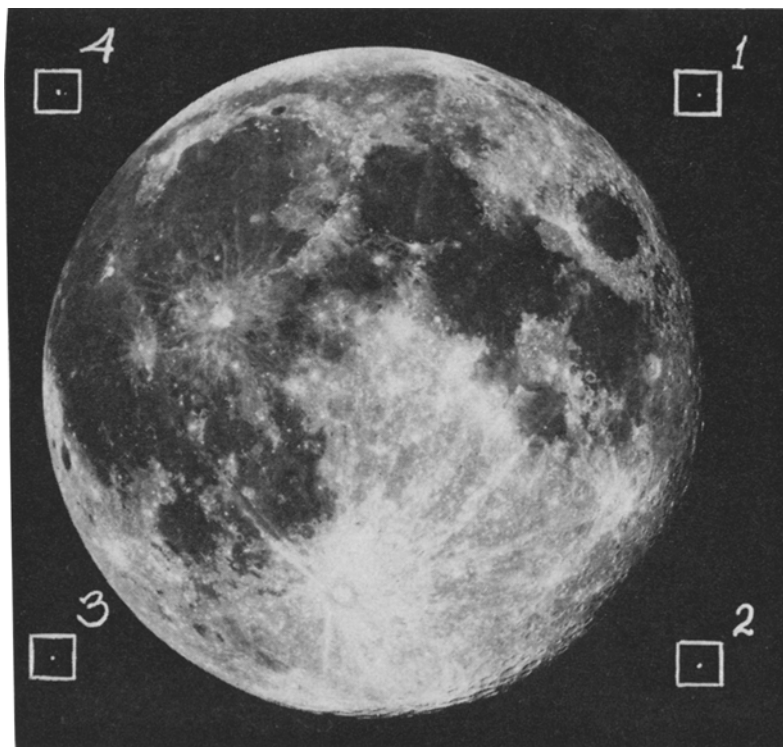


Рис. 5. Лунная пластинка.

соответственно следующие:  $24^{\circ}520$ ,  $23^{\circ}483$ ,  $23^{\circ}491$ ,  $23^{\circ}489$ ,  $23^{\circ}499$ ,  $23^{\circ}504$ ,  $24^{\circ}540$ ,  $24^{\circ}537$ ,  $24^{\circ}534$ ,  $24^{\circ}529$ ,  $24^{\circ}528$ ,  $24^{\circ}526$ . На рисунке приведены не все звезды. На пластинке их значительно больше.

На рисунке 5 изображение лунной пластинки дано в натуральную величину. В углах снимка расположены метки. Изображения звезд и меток на обоих рисунках для контраста усилены тушью. Лунные и звездные метки заключены в квадратики.

### 3. Анализ Точности Метода Разделенных Фотопластинок

Качество фотографического изображения Луны при наблюдениях предложенным способом, при прочих равных условиях, определяется точностью изготовления механизма перемещения лунной кассеты. Измерения меток у ряда лунных пластинок показали, что значение скорости остается постоянной с точностью до  $S=0.5$  мк за одну минуту времени, где  $S$  – среднее квадратичное отклонение. Так как ошибки компенсации собственного движения Луны и привязки пластинок не зависят от фокусного расстояния, точность наблюдений новым методом в угловых единицах будет выше на длиннофокусных инструментах.

Ответственным моментом предлагаемого метода наблюдений Луны со звездами является преобразование измеренных координат на лунной пластинке  $(x_2, y_2)$  в систему координат на звездной  $(x_1, y_1)$ .

О точности определения редуцированных координат меток можно судить по расстояниям между геометрическими центрами звездных и лунных меток. Например, для двух систем меток они равны: 0.144 мм и 0.142 мм.

Точность привязки пластинок исследовалась без Луны путем одновременного фотографирования на звездную и лунную пластинки звезд в скоплении Плеяд, положения и собственные движения которых известны с высокой точностью (Eichhorn и др., 1970). На лунной пластинке было взято несколько контрольных звезд (эквиваленты кратеров). Их координаты вычислялись по опорным звездам, расположенным на звездной пластинке (связь между лунной и звездной пластинкой). Затем они сравнивались с каталожными положениями (Eichhorn и др., 1970). Так как последние известны с высокой точностью, то разности координат контрольных звезд (О-С) определяют качество привязки лунной пластинки к звездной. Для контроля координаты звезды и 1375 были найдены по опорным звездам, расположенным на лунной пластинке, и так же сравнены с каталожными значениями.

ТАБЛИЦА I

N	$m_{pv}$	$\Delta\alpha \cos \delta$	$S_\alpha$	$\Delta\delta$	$S_\delta$
1284	8.35	0 $^{\circ}$ .14	0 $^{\circ}$ .14	0 $^{\circ}$ .13	0 $^{\circ}$ .11
1362	8.75	0.14	0.18	-0.04	0.14
1375	6.20	0.07	0.14	0.08	0.14
1397	7.22	0.14	0.13	0.06	0.08
1431	6.77	0.04	0.13	0.00	0.10
1375	6.20	-0.04	0.10	0.06	0.10

В таблице I приводятся результаты исследования пяти звезд по восьми наблюдениям. В первом столбце даны номера звезд по каталогу Герцшпрунга (Eichhorn и др., 1970), во втором столбце приводятся фотовизуальные величины звезд, в третьем и пятом даны разности (О-С) по прямому восхождению и склонению, в четвертом и шестом столбцах приведены средние квадратичные ошибки (standard deviation) разностей (О-С) по обеим координатам. Для звезды И 1375 внизу таблицы даны разности координат (О-С) и их ошибки, определенные вторым способом.

Из таблицы по разностям (О-С) и их ошибкам следует два вывода. Во первых, горизонтальный телескоп можно использовать для решения астрометрических задач. Во вторых, привязка системы двух пластинок с помощью меток может обеспечиваться с высокой точностью.

#### 4. Заключение

В настоящее время известен ряд методов определения координат объектов на Луне.

В одних методах масштаб и ориентировка определяются по точкам самой Луны с известными селенографическими координатами (Saunders, 1910; AMS, 1964; и др.), в других ориентировка снимков осуществляется по впечатанным следам звезд, а масштаб опять-таки по кратерам (Arthur, 1965). В методе, предложенном Моутсоулосом (Moutsoulas, 1970), постоянные пластинки определяются по звездам, впечатанным на лунный снимок из другой области неба. В данной работе описывается новый способ наблюдения Луны с окружающими её звездами, где обеспечивается одновременное их фотографирование на две пластинки, лунную и звездную.

Известные методы Марковица (Markowitz, 1954) и мгновенных экспозиций с заслонками (Michailov and Potter, 1957; Rizvanov, 1971), насколько известно авторам, для определения координат точек не используются.

Перечисленные выше методы принципиально отличаются друг от друга имея свои преимущества и недостатки. Для того, чтобы отдать предпочтение одному из этих способов наблюдений мы считаем целесообразным установить по международному соглашению список стандартных кратеров, обязательных для наблюдений.

Такой список, например, предлагается Гурштейном А. А. и Словохотовой Н. П. (Gurshtein, 1971).

#### Литература

- AMS (U.S. Army Map Service, Washington, D.C.): 1964, Tech. Rept. No. 29, part 2.  
 Arthur, D. W. J.: 1965, *Comm. Lunar Planetary Labor.*, Tucson Nos. 62 and 89.  
 Bystrov, N. F.: 1972, *Publ. 18th Astron. Conf. U.S.S.R.*, p. 327.  
 Eichhorn, von Wurmb, H., Googe, W. D., Lukac, C. F., and Murphy, J. K.: 1970, *Mem. Roy. Astron. Soc.* 73, Part 2.  
 Franz, J.: 1901, *Mitt. Sternwarte Breslau*, No. 1.  
 Gurshtein, A. A. and Slovkhotova, N. P.: 1971, *The Moon* 3, 266.  
 Habibullin, Sh. T.: 1958, *Publ. Engelhardt Observ. Kazan*, No. 31.  
 Markowitz, W.: 1954, *Astron. J.* 59, 69.  
 Mikhailov, A. A. and Potter, H. I.: 1957, *Publ. 11th Astron. Conf. U.S.S.R.*, p. 312.  
 Moutsoulas, M. D.: 1970, *The Moon* 1, 173.  
 Rizvanov, N. G.: 1971, in H. C. Ingrao (ed.), *New Techniques in Astronomy*, Gordon and Breach, New York-London.  
 Rizvanov, N. G.: 1972, *Publ. 18th Astron. Conf. U.S.S.R.*, p. 321.  
 Saunders, S. A.: 1911, *Mem. Roy. Astron. Soc.* 9, Part 1.