

ВЕСТНИК
ХАРЬКОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА



№ 129

АСТРОНОМИЯ

ВЫПУСК 10

1925

42 коп.



V.N. Karazin Kharkiv National University



5

00251915

1910
2040041
1910

1910
2040041
1910

МИНИСТЕРСТВО ВЫШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ВЕСТНИК
ХАРЬКОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

№ 129

АСТРОНОМИЯ

ВЫПУСК 10

ИЗДАТЕЛЬСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ВИЩА ШКОЛА»
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
Харьков — 1975

Печатается по решению Ученого совета астрономической обсерватории Харьковского университета (протокол № 2/74 от 31 мая 1974 г).

В вестнике помещены статьи, посвященные вопросам меридианной и фотографической астрометрии, фотометрии и колориметрии Луны и планет.

Рассчитан на научных работников и специалистов.

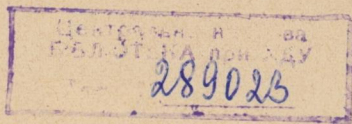
Редакционная коллегия:

В. И. Езерский (отв. редактор), *К. Н. Кузьменко* (отв. секретарь), *В. Х. Плужников*, *А. Т. Чекирда*, *К. Н. Деркач*.

Адрес редакционной коллегии:

Харьков, 22, ул. Сумская, 35, астрономическая обсерватория.

Редакция естественнонаучной литературы.



ОПТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР И НАКЛОН ПЛАСТИНКИ КОРОТКОФОКУСНОГО АСТРОГРАФА ЦЕЙССА

Астрограф Цейсса Астрономической обсерватории ХГУ ($D = 16$ см, $F = 72$ см) применялся для фотографических наблюдений комет. Теперь предполагается использовать его и для позиционных фотографических наблюдений малых планет, которые надо проводить с большей точностью, чем наблюдения комет. В связи с этим появилась необходимость тщательно исследовать астрограф. В первую очередь надо было найти оптический центр пластинки и наклон ее к оптической оси.

Предварительное исследование показало, что оптическая ось не проходит через центр трубы у кассетной части. Точка пересечения осью пластинки отклонена от центра на 10 мм (по δ). Следовательно, объектив недостаточно отцентрирован по отношению к тубусу. Это вызывало наклон пластинки на угол около $45'$. Наш астрограф не имеет центрировочного приспособления, которое есть у зонного астрографа [1, 2]. После центрировки объектива по отношению к тубусу [3] указанный выше наклон пластинки был устранен в первом приближении. Остаточный наклон устранялся с помощью прокладок под болты кассетной части после нахождения оптического центра и точки пересечения оптической оси с пластинкой. Положение кассеты в кассетной части астрографа было отрегулировано так, чтобы оптический центр по возможности ближе находился к геометрическому центру пластинки. Для фиксирования пластинки в кассете в плоскости, перпендикулярной к оптической оси, дополнительно установлены две пружинящие пластины.

Известно, что оптический центр пластинки — это основание перпендикуляра, опущенного из второй главной точки объектива на пластинку. Он был найден в первом приближении способом Ольсона [4] с точностью до ± 2 мм.

Работы [5—8], в которых определялся оптический центр экспериментальными методами, показали, что точность полученных результатов составляла около ± 1 — 2 мм. Если для среднефокусных и длиннофокусных астрографов ($F = 2$ — 10 м), которые исследуются в данной литературе, этой точности было достаточно, то для нашего короткофокусного астрографа ($F = 72$ см) ее необходимо увеличить почти на порядок. Только тогда при редукциях классическими методами можно будет применять линейные формулы, если мы хотим, чтобы ошибка в определении координат искомых объектов, возникающая из-за неточного знания оптического центра, не превышала $\pm 0'',1$ — $0'',2$ для полей до $2^\circ \times 2^\circ$ [4].

За основу исследования взят метод Гуртовенко [5]. Согласно методике, предложенной в [5], было найдено, что точка пересечения оптической оси диафрагмой объектива совпадает, если смотреть вдоль оси, с центром объектива с точностью до ± 1 мм. Такая точность неудовлетворительна для короткофокусного астрографа. Чтобы ее улучшить, было сделано следующее.

В центре диафрагмы с отверстием около 10 мм приклеивались две параллельные металлические нити, диаметры которых равны 0,13 мм, расстояние между ними — 0,5 мм. Экран, как обычно, устанавливается перед объективом так, чтобы отверстие в нем располагалось на оптической оси. На оптической оси также располагалось отверстие листа, приклеенного к пластинке. Рассматривая через отверстие экрана у объектива подсвеченное отверстие листа и вращая диафрагму в оправе объектива, можно было убедиться, что оптическая ось проходит через центр оправы объектива с точностью не хуже $\pm 0,05$ мм.

Этим методом с такой же точностью можно было бы определить поправку, если бы она была больше 0,05 мм. Так как оптическая ось проходит через центр оправы объектива, при определении положения оптического центра можно пользоваться диафрагмой с поворотом ее на 180° . Для того чтобы пластинка находилась в своем естественном рабочем положении и во время исследования, в центре крышки кассеты было сделано окошко диаметром 9 мм, а крышка на время исследования закрывалась.

Пришлось отказаться от фиксирования на пластинке оптического центра с помощью чернил или туши, как в работе [5], из-за недостаточной точности. Оптический центр фиксировался следующим образом. В центральной части пластинки к последней в двух местах параллельно одной из координат приклеивалась натянутая металлическая нить толщиной 0,13 мм и длиной около 20 мм. При наблюдении у кассетной части через экран с крестом в рабочем положении кассеты нить должна биссектировать светящееся отверстие диафрагмы и совпадать с соответствующим отраженным от пластинки изображением прямой креста. Обычно она не совпадает.

Тогда можно приклеить параллельно первой нити вторую вблизи ожидаемого оптического центра и затем интерполировать положение креста со светящимся отверстием на отрезке между нитями. Удобно приклеивать сразу две параллельные нити с расстоянием между ними около 1 мм. Положение нити на пластинке измеряется проверенной линейкой по отношению к одному краю пластинки. Аналогично определяется и вторая координата. Сходимость получаемых значений места оптического центра по одной пластинке $\pm 0,1$ мм для каждой координаты.

Оптический центр находился с помощью нескольких пластинок, каждая из которых устанавливалась в двух положениях, отличающихся на 180° , для исключения ошибок из-за недоста-

точной плоскопараллельности пластинок. Поворот на 180° осуществлялся вокруг прямой, параллельной оптической оси.

Чтобы воспользоваться результатами исследования оптического центра, необходимо кассету вставлять одной и той же стороной в кассетную часть (заслонкой в сторону упора по α). Координаты оптического центра измеряются непосредственно от края пластинки: X — параллельно стороне пластинки 18 см (направление — от заслонки кассеты), Y — параллельно стороне 13 см (направление — от петель кассеты).

Результаты исследования места оптического центра приведены в табл. 1, 2. Данные таблиц отличаются между собой, так как 25 сентября 1973 г. был уменьшен наклон пластинки к оптической оси. Следовательно, изменилось и положение оптического центра на пластинке. До 25 сентября для табличных условий координаты места пересечения оптической оси с пластинкой были следующие: $X = 91,0$ мм, $Y = 65,1$ мм (наклон пластинки по α равнялся $14'$, по δ — $5'$). После 25 сентября координаты места пересечения оптической оси с пластинкой не изменились, но теперь наклон пластинки составляет: по α — $0',5$, по δ — $1',5$. Уменьшение наклона способствует улучшению резкости к краям пластинки, а следовательно, и точности измерений. Точность табличных данных тоже различная (данные табл. 2 в два раза точнее данных табл. 1). Причина — большее количество измерений (в четыре раза) в первом случае.

Таблица 1

Положение оптического центра на пластинке с 1 мая по 25 сентября 1973 г.

Визирная линия направлена на юг, труба расположена горизонтально, на восток от колонны

№ пластинки	$X (\alpha)$			$Y (\delta)$		
	Положение пластинки			Положение пластинки		
	0°	180°	Среднее	0°	180°	Среднее
1	88,1 мм	87,8 мм	87,95 мм	66,3 мм	65,9 мм	66,1 мм
2	87,2	88,3	87,75	67,0	65,5	66,25
3	87,6	88,7	88,15	65,6	65,6	65,6
4	87,7	88,0	87,85	66,3	67,0	66,65
5	88,5	89,0	88,75	66,7	65,5	66,1
Среднее	—	—	$88,1 \pm 0,18$	—	—	$66,1 \pm 0,16$

Анализируя результаты по номерам пластинок, можно заметить незначительную зависимость результатов от номера пластинки. Значительно большая зависимость проявилась от положения пластинки (0 и 180°). Это свидетельствует о том, что подобные исследования необходимо проводить с поворотом пластинки на 180° .

В табл. 1, 2 введены поправки за несовпадение центра отверстия диафрагмы, поставленной перед объективом, со второй главной точкой объектива. Поправки зависят от наклона пластинки.

тинки. Получены они следующим образом. Было измерено расстояние от фокальной плоскости до диафрагмы (855 мм). Вычитая из него фокусное расстояние (720 мм), находим, что расстояние от центра диафрагмы до второй главной точки объектива равно 135 мм.

Таблица 2

Положение оптического центра на пластинке после 25 сентября 1973 г.
Визирная линия направлена на юг, труба расположена горизонтально, на восток от колонны

№ пластинки	X (α)			Y (δ)		
	Положение пластинки			Положение пластинки		
	0°	180°	Среднее	0°	180°	Среднее
1	90,9 мм	90,5 мм	90,7 мм	65,0 мм	64,5 мм	64,75 мм
2	90,3	91,2	90,75	65,0	64,0	64,5
3	90,5	91,5	91,0	64,0	65,4	64,7
4	91,1	90,9	91,0	65,2	64,9	65,05
5	90,6	91,3	90,95	65,0	64,7	64,85
Среднее	—	—	90,9 ± 0,07	—	—	64,8 ± 0,09

Рассмотрим рисунок. Здесь D — диафрагма, A — вторая главная точка объектива, DAB — оптическая ось, B — точка пересечения оптической оси пластинкой, T — оптический центр, C —



Оптический центр и наклон пластинки.

основание перпендикуляра, поставленного на пластинку из центра диафрагмы. Из подобия треугольников ADK и EDC находим: $\frac{AK}{AD} = \frac{BC}{BD}$.

Поправка $TC = AK = \frac{AD}{BD} \cdot BC = \frac{135}{855} \cdot BC$, BC находится непосредственно из эксперимента. В табл. 1 введены следующие поправки: по X — +0,54 мм, по Y — -0,17 мм; аналогично в табл. 2: +0,02 и +0,05 мм.

Исследовалось влияние гнутя трубы на место оптического центра (табл. 3). Обнаружено небольшое изменение места оптического центра вследствие гнутя. Изменение это реальное, так как точность измерений $\pm 0,1$ мм. Влияние гнутя исследовалось также в тех случаях, когда труба направлялась горизонтально на восток и на запад (положение трубы относительно колонны — север и юг). Изменение места оптического центра такое же, как и в табл. 3, только оно раскладывается по координатам $X(\alpha)$ и $Y(\delta)$. В табл. 3 приводится также изменение места пересечения оптической оси с пластинкой, определявшееся при тех же условиях, что и изменение места оптического центра. Оба изменения близки по абсолютной величине и имеют одинаковые знаки в противоположность 26" рефрактору ГАО АН СССР [6]. Результаты

табл. 3 можно объяснить конструкцией нашего астрографа, в котором труба крепится к штативу двумя мощными вилками. При этом расстояние между вилками 40 см, длина объективной части трубы до одной вилки 21 см, длина кассетной части трубы до другой вилки 26 см. Следовательно, кассетная часть длиннее объективной. К тому же кассетная часть трубы имеет дополнительно внешнюю трубу, предназначенную для фокусировки камеры. Таким образом, кассетная часть трубы может обладать большим гnutием, чем объективная часть, что и объясняет результаты табл. 3.

Таблица 3

Изменение положения оптического центра на пластинке и места пересечения оптической оси с пластинкой вследствие гнтия трубы

Положение трубы относитель- но колонны	Номер положе- ния трубы	Координаты точки, в которую направлена визирная линия		Координаты по сравнению с положением трубы № 1	
		Азимут	Высота	Оптический центр, Y (δ)	Место пересе- чения оптиче- ской оси с пластинкой, Y (δ)
Восток	1	0°	0°	0,0 мм	0,0 мм
	2	180	0	-0,5	-0,7
Запад	3	0	0	-0,5	-0,6
	4	180	0	0,0	0,0

Оптический центр определялся также для высот 30°, 60° в указанных в табл. 3 и близких к ним азимутах. Однако практически невозможно было заметить изменения его по сравнению с табличными данными, так как эти изменения были в пределах точности измерений. Во всяком случае, изменение места оптического центра не превосходило $\pm 0,1$ мм. Из этого можно также сделать вывод, что пружины, удерживающие пластинку в кассете, не позволяют пластинке менять наклон к оптической оси, если трубу направлять в различные точки неба.

Так как на астрографе предполагается наблюдение малых планет, а последние наблюдаются вблизи меридиана, на юге, то можно рекомендовать к координатам оптического центра табл. 1, 2 поправки, приведенные в табл. 4.

Точность определения положения оптического центра для условий, отмеченных в табл. 1, $\pm 0,18$ мм (X) и $\pm 0,16$ мм (Y), для табл. 2 — $\pm 0,07$ мм (X) и $\pm 0,09$ мм (Y). Систематическая ошибка, возникающая из-за неточного знания места пересечения оптической осью диафрагмы, меньше $\pm 0,05$ мм. Ошибка, возникающая в результате неточного знания расстояния диафрагмы от второй главной точки объектива, в несколько раз меньше

упомянутой выше ошибки. Рассматривая в совокупности эти три вида ошибок, можно констатировать, что точность определения координат оптического центра составляет для средних значений по всем пластинкам табл. 1 $\pm 0,2$ мм, табл. 2 — $\pm 0,1$ мм. Для отдельной пластинки ошибка из-за неодинаковой степени зажима кассеты винтами составляет $\pm 0,05$ мм, из-за неточности резки стекла пластинки — около $\pm 0,1$ мм. Общая ошибка знания места оптического центра одной реальной пластинки составит для каждой из координат $\pm 0,23$ мм (условия табл. 1) и $\pm 0,15$ мм (условия табл. 2).

Таблица 4

Поправки к табл. 1, 2 для наблюдений вблизи меридиана, в южной части неба

Положение трубы относительно колонны	Высота наблюдаемого объекта, град.	ΔY (δ), мм
Восток	0	0,0
	37	—0,05
	53	—0,1
	66	—0,15
	78	—0,2
	90	—0,25
Запад	0	—0,5
	37	—0,45
	53	—0,4
	66	—0,35
	78	—0,3
	90	—0,25

Рассматривая эти ошибки как следствие наклона пластинки к оптической оси, получим соответственно углы наклона пластинки $\pm 1'$ и $\pm 45''$. Согласно работе [4], в этом случае при редуциях можно применять линейные формулы вплоть до полей $2^\circ \times 2^\circ$, если хотим, чтобы ошибка вследствие неточного знания оптического центра не превосходила $\pm 0'',14$ (по снимкам с 1 мая по 25 сентября 1973 г.) и $\pm 0'',10$ (по снимкам после 25 сентября 1973 г.). Но так как при обработке наблюдений малых планет опорные звезды подбираются таким образом, чтобы они окружали планету и по возможности были распределены равномерно по кругу или кольцу, то в этом случае упомянутая выше ошибка уменьшается в 2—4 раза, как показано в работе [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Белявский С. И. Астрографический каталог 11322 звезд между 70° северного склонения и северным полюсом. — «Труды ГАО в Пулкове», 1947, серия II, т. LX, с. 3—250.
2. Калихевич Ф. Ф. Установка и исследование зонного астрографа в Николаеве. — «Изв. ГАО в Пулкове», 1964, т. XXIII, вып. 4, № 174, с. 160—166.

3. Мельников О. А. Оптика линзовых и зеркальных астрономических телескопов. — «Курс астрофизики и звездной астрономии», 1951, т. I, с. 39—108.
4. Дейч А. Н. Основы фотографической астрометрии. — «Курс астрофизики и звездной астрономии», 1951, т. I, с. 183—258.
5. Гуртовенко Э. А. К вопросу о методе определения оптического центра. — «Изв. ГАО АН УССР», 1956, т. I, вып. 2, с. 96—104.
6. Киселев А. А. и Плюгин Г. А. Определение оптического центра 26" рефрактора. — «Изв. ГАО в Пулкове», 1964, т. XXIII, вып. 4, № 174, с. 127—129.
7. Козаренко Б. И. Определение оптического центра пластинки АФР-1. — «Сообщения ГАИШ», 1961, № 104, с. 39—41.
8. Головина Л. А. Определение оптического центра пластинки Большого астрографа Московской обсерватории. — «Сообщения ГАИШ», 1961, № 104, с. 55—60.
9. Киселев А. А. О влиянии погрешности принятого положения оптического центра на результат редукции астрофотографий. — «Изв. ГАО в Пулкове», 1960, т. XXII, вып. I, № 166, с. 165—175.

УДК 522.982

П. П. ПАВЛЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТИВА КОРОТКОФОКУСНОГО АСТРОГРАФА ЦЕЙССА

Объектив астрографа Цейсса АО ХГУ представляет собой астро-триплет фирмы Цейсса (№ 12642, $F = 72$ см, $D = 16$ см). Исследование сферической аберрации, астигматизма и кривизны поля объектива проводилось методом Гартмана [1,2].

Для изучения остаточной сферической аберрации были получены внефокальные снимки Арктура и Веги через диафрагму Гартмана вблизи точки пересечения оптической оси с пластинкой. Диафрагма Гартмана содержала 36 отверстий для 8 зон объектива. Измерялись изображения от всех отверстий. Измерения проводились на измерительном приборе УИМ-21. Полученные в результате обработки пластинок продольная и поперечная сферические аберрации даны в табл. 1. Максимум остаточной сферической аберрации находится в зоне $0,4R < y < 0,6R$ (рис. 1), где R — радиус объектива.

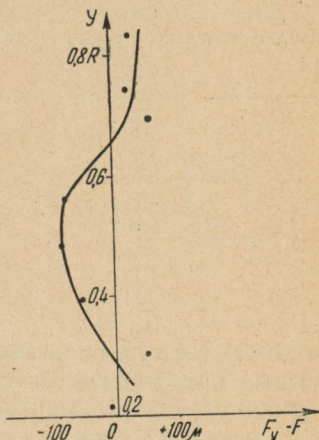


Рис. 1. Продольная сферическая аберрация.

Техническая постоянная T , представляющая собой средний взвешенный по зонам диаметр кружка рассеяния, полученный от бесконечно удаленной точки из-за наличия остаточной сферической аберрации и выраженный в сотых долях фокусного расстояния, равна для предполагаемого центра симметрии абер-

раций 0,84, для точек пластинки вблизи центра $0,88 \pm 0,05$ (табл. 2). Следовательно, объектив хороший, так как $1,5 > T > 0,5$. Диаметр кружка рассеяния в микронах равен $6,3 \pm 0,4 \mu$, в секундах дуги $1'',8 \pm 0'',1$.

Таблица 1

Зона y (расстояние от центра объектива в долях его радиуса)	Продольная сферическая аберрация ($F_y - F$)							Поперечная сферическая абerrация (радиус кружка рассеяния в гауссовой плоскости), μ
	Расстояние в миллиметрах от точки пере- сечения оптической оси с пластинкой, μ							
	0,3	2,6	3,9	4,0	6,6	7,3	Среднее	
0,21	-54	+14	+64	-61	-16	-22	-12	1,1
0,30	+47	+35	+55	+102	+54	+20	+52	4,3
0,39	-62	-70	-58	-29	-56	-56	-55	4,0
0,48	-46	-81	-105	-92	-77	-120	-87	5,4
0,56	-76	-80	-71	-72	-70	-118	-81	4,3
0,65	+63	+36	+66	+70	+48	+6	+48	2,1
0,74	+1	+32	+18	+44	+43	+16	+26	0,9
0,83	+52	+62	+30	-1	+42	+4	+32	0,7

Таблица 2

Дата наблюдения	Объект наблюдения	Сорт пластинок	Проявитель	Расстояние объекта от точки пересече- ния оптической оси с пластинкой, мм	Техниче- ская постоянная, T
1. V. 73	Арктур	WU2	D-76	2,6	0,99
1. V. 73	»	»	»	6,6	1,05
10. V. 73	»	ZU2	»	4,0	0,85
10. V. 73	»	»	»	7,3	0,67
12. X. 73	Berga	WU2	»	3,9	0,90
25. X. 73	»	»	»	0,3	0,84
Среднее					$0,88 \pm 0,05$

Астигматизм исследовался по снимкам Арктура на различных расстояниях от точки пересечения оптической оси с пластинкой. В табл. 3 приведена астигматическая разность $F_{\text{мер}} - F_{\text{сагит}}$ (разность фокусов для пучков лучей, проходящих через меридиональные и сагиттальные сечения объектива). Она в два раза превышает ошибку ее определения лишь для пучков лучей, наклонных к оптической оси более, чем на 2° . При этом астигматическая разность равна 0,1 мм, а поперечная aberrация астигматизма достигает 10 μ .

Кривизна поля исследовалась по тем же снимкам, что и астигматизм. Для пучка лучей, наклонного к оси на 2° , она меньше 0,1 мм. В табл. 4 приведено значение фокуса в деле-

ниях фокусирующей шкалы (одно деление соответствует 1 мм) для различных расстояний объектов от точки пересечения оптической оси с пластинкой.

Таблица 3

Расстояние до объекта от точки пересечения оптической оси с пластинкой		Астигматическая раз- ность ($F_{\text{мер}} - F_{\text{сагит}}$), мм
В угловой мере	В линейной мере, мм	
12'	2,6	$-0,008 \pm 0,021$
19	4,0	$+0,006 \pm 0,026$
31	6,6	$+0,078 \pm 0,022$
35	7,3	$+0,073 \pm 0,063$
1°02	13,0	$+0,042 \pm 0,044$
1 31	19,0	$+0,076 \pm 0,044$
1 52	23,4	$+0,096 \pm 0,043$
2 16	28,6	$+0,163 \pm 0,046$
2 51	35,8	$+0,275 \pm 0,080$
3 51	48,5	$+0,502 \pm 0,056$
4 10	52,4	$+0,570 \pm 0,035$

Таблица 4

Расстояние от объекта наблюдения до точки пересечения оптической оси с пластинкой	Значение фокуса в делениях фокусирующей шкалы
12'	12,670
19	638
31	669
35	704
1°02	668
1 31	715
1 52	764
2 16	714
2 51	880
3 51	962
4 10	13,084

Рис. 2 дает представление о совместном влиянии астигматизма и кривизны поля на положение фокуса. Здесь кривая линия характеризует кривизну поля, а вертикальные прямые — астигматическую разность. Таким образом, совместное действие астигматизма и кривизны поля приводит к поперечной аберрации около 15 μ для рабочего поля радиусом 2°. Следовательно, для этого поля фотографический астрономический объектив еще достаточно хорош [2], если речь идет об астигматизме и кривизне поля.

Дисторсия объектива исследовалась по результатам фотографических наблюдений широких пар звезд [3]. Наблюдения проводились вблизи меридиана. Для повышения точности резуль-

татов наблюдения некоторых пар дублировались на вторых пластинках, а некоторые пары наблюдались на одной пластинке, но производились по 3 экспозиции, со сдвигом по одной из координат.

Наблюдения обрабатывались исходя из следующих соображений. Вследствие дисторсии измеренное расстояние на пластинке между двумя звездами l , одна из которых находится в оптическом центре, выражается формулой

$$l = F \operatorname{tg} \sigma + d (F \operatorname{tg} \sigma)^3.$$

Здесь F — фокусное расстояние объектива астрографа; σ — угол между звездами; d — коэффициент дисторсии. Если середина отрезка между звездами находится в оптическом центре, то

$$l = 2 \left[F \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} + d \left(F \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} \right)^3 \right].$$

Если l_1 — расстояние между звездами пары на пластинке, когда одна звезда находится в оптическом центре, l_2 — когда другая звезда в оптическом центре, l_3 — когда середина отрезка между звездами находится в оптическом центре (третий слу-

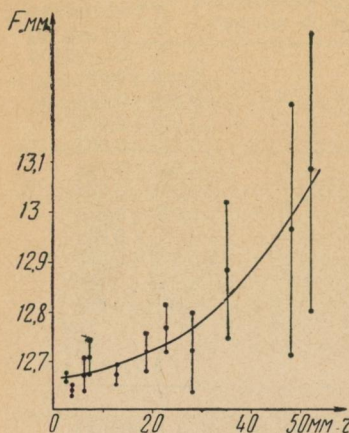


Рис. 2. Астигматизм и кривизна поля.

чай), то коэффициент дисторсии определяется по формуле

$$d = \frac{\frac{l_1 + l_2}{2} - l_3 - F \left(\operatorname{tg} \sigma - 2 \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} \right)}{F^3 \left(\operatorname{tg}^3 \sigma - 2 \operatorname{tg}^3 \frac{\sigma}{2} \right)}.$$

Вычисления коэффициента дисторсии дублировались по формуле А. Н. Дейча [3]

$$d = \frac{\frac{l_1 + l_2}{2} - l_3}{3 (l_3)^3 m (1 - m)} - \frac{1}{3 F^2},$$

где m — отношение отрезка от звезды до оптического центра в третьем случае ко всему отрезку l_3 . Результаты вычислений по обеим формулам совпадают с достаточной точностью. Но по формуле А. Н. Дейча проще вычислять, и, что особенно важно, она не искажает результатов, если середина отрезка между звездами находится не в оптическом центре, а сдвинута в сторону одной из звезд пары.

Фокусное расстояние объектива F вначале вычислено из уравнений $l_3 = 2F \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2}$, т. е. $d = 0$. Затем получено первое приближение d из уравнений

$$l_3 = 2 \left[F \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} + d \left(F \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} \right)^3 \right].$$

И, наконец, из этих же уравнений вычислено F во втором приближении. Оказалось, что $F = 717,88 \pm 0,05$ мм. Средняя температура воздуха во время наблюдений равнялась около 0°C . В пределах 10° не замечена зависимость F от температуры.

Полученное таким образом значение F применялось при вычислениях коэффициента дисторсии.

Данные о наблюдавшихся звездах и полученные значения коэффициента дисторсии d приведены в табл. 5. Среднее значение d по δ равно $(+0,468 \pm 0,050) 10^{-6}$ мм $^{-2}$, по α $(+0,445 \pm 0,085) 10^{-6}$ мм $^{-2}$. Таким образом, коэффициент дисторсии одинаковый по α и δ (в пределах ошибок исследования). Среднее его значение по α и δ равно $(+0,457 \pm 0,047) 10^{-6}$ мм $^{-2}$ или в других единицах измерения $+0,258 \pm 0,027''/\text{град}^3$.

Таблица 5

Расположение пары по	Номера звезд	Каталог	Угловое расстояние между звездами σ	Коэффициент дисторсии в 10^{-6} мм $^{-2}$
δ	28239,28242	GC	2°01'02"	+0,536
	29274,29284	»	2 31 52	563
	410019,440034	AGKC	3 03 37	410
	28709,28711	GC	3 13 04	533
	400810,440700	AGK2	3 40 28	299
α	28414,28613	GC	2 00 32	635
	43008,30921	AGK2, GC	2 15 35	663
	43011,30921	»	2 43 23	360
	786,840	AGK2	2 57 11	331
	10491,10528	»	3 24 48	238

В табл. 5 можно заметить некоторую зависимость d от σ . В связи с этим сделана попытка представить дисторсию с учетом влияния члена пятой степени

$$l = F \operatorname{tg} \sigma + d_1 (F \operatorname{tg} \sigma)^3 + d_2 (F \operatorname{tg} \sigma)^5.$$

Тогда для каждой наблюдавшейся пары звезд можно составить уравнение

$$\begin{aligned} \frac{l_1 + l_2}{2} - l_3 - F \left(\operatorname{tg} \sigma - 2 \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} \right) = \\ = F^3 \left(\operatorname{tg}^3 \sigma - 2 \operatorname{tg}^3 \frac{\sigma}{2} \right) d_1 + F^5 \left(\operatorname{tg}^5 \sigma - 2 \operatorname{tg}^5 \frac{\sigma}{2} \right) d_2. \end{aligned}$$

Решая полученные 10 уравнений способом наименьших квадратов, получаем следующие значения искоемых коэффициентов дисторсии d_1 и d_2 : $d_1 = (+0,691 \pm 0,045) \cdot 10^{-6} \text{ мм}^{-2}$, $d_2 = (-1,55 \pm 0,21) \cdot 10^{-10} \text{ мм}^{-4}$. Или в других единицах измерения: $d_1 = +0,390 \pm 0,025''/\text{град}^3$, $d_2 = -0,0137 \pm 0,0019''/\text{град}^5$.

Полученные значения коэффициентов дисторсии d_1 и d_2 необходимо учитывать при редукциях методами фотографической астрометрии.

Результаты проведенных исследований объектива короткофокусного астрографа Цейсса позволяют сделать вывод, что он пригоден для астрометрических работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богуславская Е. Я. Фотографическая астрометрия. М.—Л., Гостехиздат, 1947. 296 с.
2. Мельников О. А. Оптика линзовых и зеркальных астрономических телескопов.—«Курс астрофизики и звездной астрономии», 1951, т. I, с. 39—108.
3. Дейч А. Н. Фотографическая астрометрия.—«Курс астрофизики и звездной астрономии», 1973, т. I, с. 178—271.

УДК 523.892

К. Н. КУЗЬМЕНКО, В. Х. ПЛУЖНИКОВ

О ВЛИЯНИИ «ОШИБКИ ВЕЧЕРА» НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЯМЫХ ВОСХОЖДЕНИЙ ФКСЗ

Меридианные наблюдения бывают подвержены влиянию разного рода ошибок систематического характера.

Одни из них, характеризующие установку инструмента или так называемые «элементы редукции», выражаются точными и удобными формулами. Другие же не укладываются в строгую геометрическую теорию. Таковы, например, термические влияния, которые испытывает инструмент; их действие может обусловиться определенным устройством наблюдательного павильона. Некоторое воздействие на инструмент может оказывать и сам наблюдатель.

В первой половине XIX столетия Бессель высказал мысль, что астрономический инструмент создается два раза: во-первых, его конструктором, во-вторых, наблюдателем, путем исследования инструментальных погрешностей.

В 1843 г. В. Я. Струве [1] говорил, что изучение вредного термического влияния на астрономический инструмент имеет большое значение.

Сравнивая результаты астрономических определений координат какой-либо звезды, выполненных на одном и том же инструменте в разные вечера, обнаруживаем расхождения, значительно превышающие ошибки, определяемые по внутренней схо-

димости наблюдений. Эти расхождения называют «ошибками вечера», «эффектом вечера», «суточной волной» и т. д.

Выяснение происхождения «ошибки вечера» теснейшим образом связано с выяснением различного рода систематических ошибок.

Важные результаты в исследованиях подобного рода были получены М. С. Зверевым [2], Н. Н. Павловым [4], Г. К. Циммерманом [3], В. М. Васильевым [6], К. Н. Тавастшерна [5] и др. Например, была обнаружена разность температуры в 1° , 2°C между верхней и нижней сторонами горизонтально расположенной трубы вертикального круга Репсолда [3], определены градиенты температур и в других направлениях, а также в разных частях инструмента [6].

Указанные разности достигают значительной величины (до 2° , 0°C), не остаются постоянными, а закономерно изменяются как во времени (суточные и сезонные изменения), так и в зависимости от взаимного расположения частей инструмента.

Наличие изменяющихся градиентов температуры в инструменте является одной из причин, объясняющих ряд явлений суточного характера в различных наблюдениях.

Подобное явление мы обнаружили при исследовании результатов своих определений прямых восхождений звезд ФКСЗ [7]. Так, было обнаружено, что α , полученные в отдельные вечера, отклоняются от средних координат звезды не случайно, а преимущественно в одну или другую сторону.

В связи с этим были образованы разности между α , полученными в конкретный вечер, и средними значениями α для этих звезд.

Чтобы уменьшить влияние случайных ошибок, полученные разности были выравнены методом двухкратной скользящей средней.

Результаты наблюдений некоторых вечеров показаны на рис. 1, 2, 3, 4, где по оси абсцисс отложено звездное время, а по оси ординат — указанные разности.

Прежде чем интерпретировать данные графики, необходимо отметить, что местные условия возле нашего меридианного круга особые. С восточной стороны павильон примыкает к зданию

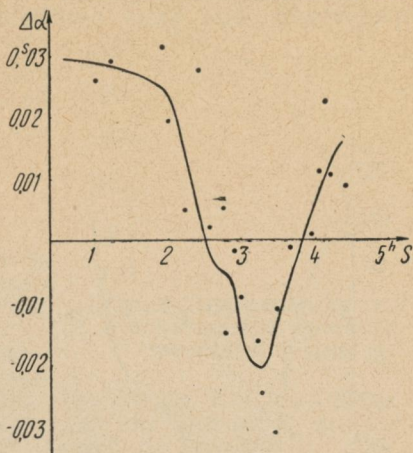


Рис. 1. Зависимость $\Delta\alpha$ от S для наблюдений продолжительностью 4 часа.

обсерватории, в то время как возле западной стороны растут деревья.

Тепловая отдача инструмента — его остывание (либо нагревание) зависит в основном от теплового состояния разных точек окружающей среды и может происходить неравномерно.

Интенсивность излучения отдельных частей инструмента определяется теми температурными градиентами, которые устанавливаются между ними, окружающей их средой и близлежащими предметами. При этом необходимо учитывать действие ветра.

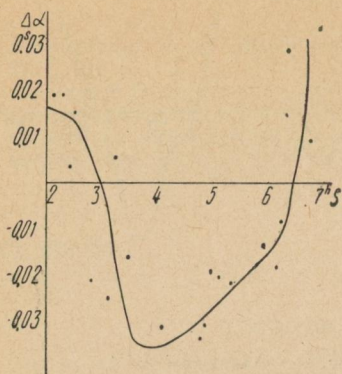


Рис. 2. Зависимость $\Delta\alpha$ от S для наблюдения продолжительностью 5 часов.

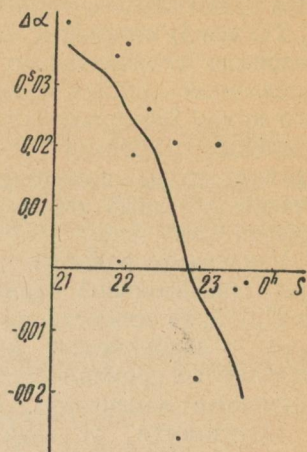


Рис. 3. Зависимость $\Delta\alpha$ от S для наблюдений продолжительностью 2 часа.

Потоки воздуха омывают его и стены павильона с наветренной стороны и способствуют более интенсивному их охлаждению или нагреванию.

Изменение $t_w - t_E$ влияет на состояние инструмента, вызывая изменяющееся во времени термическое гнутие отдельных его частей, главным образом трубы, и тем самым изменяя коллимацию инструмента. Все это вносит в наблюдения ряд систематических ошибок, часть из которых имеет суточный характер.

Рассматривая графики, можно сделать следующие заключения: во-первых, первые 2—3 часа после начала наблюдений кривая идет вниз, т. е. уменьшаются прямые восхождения определяемых звезд; во-вторых, амплитуда изменений разности превосходит среднюю квадратическую ошибку определений прямых восхождений.

В нашем павильоне ночное охлаждение через излучение западной части инструмента, в частности западной стороны трубы и оси, должно быть значительно более быстрым. Это приводит к термическому гнутию трубы, смещающему визирную линию к

западу, что увеличит моменты прохождения звезд, уменьшит поправки часов и прямые восхождения звезд.

В дальнейшем, когда температура западной части павильона станет ниже температуры восточной части, будут наблюдаться отклонения в противоположную сторону, что и видно на рис. 1, 2.

В случаях, когда наблюдения продолжались недостаточно долго, отклонения имели место только в одном направлении, что видно на рис. 3, 4.

В заключение отметим, что для более глубокого изучения и учета «ошибки вечера» желательно и при наблюдениях прямых восхождений определять температуру разных частей инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Струве В. Я.* Notice sur L'instrument des passages de Repsold établi à L'observatoire de Poulkova dans le premier vertisal. AN, 1843, № 20, p. 193—224.
2. *Зверев М. С.* Исследование результатов астрономических наблюдений службы времени ГАИШ 1941—44 гг.—«Тр. ГАИШ», 1950, 18, вып. 2, с. 22—116.
3. *Циммерман Г. К.* Die thermische Biegung und der Unterschied der vertikalkreise Repsold—Ertel. AN 243, 1931, № 5829, S. 342—350.
4. *Павлов Н. Н.* термических эффектах в пассажных инструментах службы времени.—«Тр. 10-й Астрометр. конф. СССР», 1954, с. 191—225.
5. *Тавастийерна К. Н.* Исследование термических влияний на наблюдения с фотоэлектрическим пассажным инструментом.—«Вестн. ЛГУ», 1954, № 5, с. 67—84.
6. *Васильев В. М.* Влияние изменения температуры инструмента на точность астрономических наблюдений и приборы для изучения температурных разностей в теле астрономических инструментов.—«Тр. 10-й Астрометр. конф. СССР», 1954, с. 183—190.
7. *Кузьменко К. Н., Плужников В. Х.* Каталог прямых восхождений звезд ФКСЗ.—«Тр. ХАО», 1957, т. 13, с. 13—61.

УДК 523.893

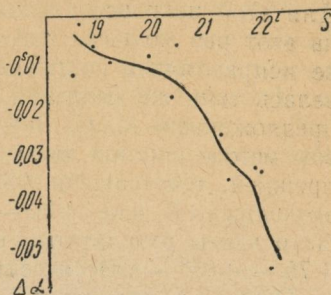


Рис. 4. Зависимость $\Delta\alpha$ от S для наблюдений продолжительностью 3 часа.

Н. Г. ЗУЕВ,
В. М. КИРПАТОВСКИЙ,
Р. М. ШУТЬЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СРЕДНЕЙ СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТА НА СИСТЕМУ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО КАТАЛОГА ПРЯМЫХ ВОСХОЖДЕНИЙ 1355 ЯРКИХ ЗВЕЗД В ЗОНЕ $+30 - +90^\circ$

В 1968—1972 гг. в Харьковской обсерватории из дифференциальных наблюдений на меридианном круге получен каталог прямых восхождений 1355 ярких звезд в системе $FK4$ для зоны $+30 - +90^\circ$ [1]. Наблюдения производились в основном в зонах

$+30 - +50^\circ$ и $+50 - +90^\circ$, причем, вторая зона чаще всего тоже разбивалась на две половины. При получении дифференциальных прямых восхождений учитывалась средняя система инструмента отдельно для каждого положения меридианного круга [1].

В данной статье рассматривается вопрос о влиянии системы инструмента на систему указанного дифференциального каталога. Для этой цели все наблюдения были обработаны заново, только на этот раз моменты наблюдений опорных и определяемых звезд не исправлялись поправками за систему инструмента. Обработка велась теми же методами, что и в [1]: классическим и новым, предложенным М. С. Зверевым и Д. Д. Положенцевым [2]. В новом методе ширина зоны фундаментальных звезд была выбрана прежней, т. е. равной 40° , чтобы отделить опорные звезды от внезонных. В зоне $+30 - +75^\circ$, как и раньше, за окончательные были взяты результаты, полученные новым методом, а в зоне $+75 - +90^\circ$ — классическим методом.

Основные результаты переобработки наблюдений без учета инструментальной системы (I) даны в табл. 1. Там же для сравнения приведены и аналогичные разности, полученные с учетом этой системы (II).

Таблица 1

Некоторые разности вида $\Delta\alpha_\delta \cos \delta$ (в $0^\circ, 001$)

Зона по δ	Классический метод минус новый		$(E - W)_{BS}$				$(E - W)_{FK4}$		$(O - C)_{FK4}$		$KX' - KX$
	I	II	Классический метод		Новый метод		I	II	I	II	
$+30 - +35^\circ$	-8	0	-4	-4	-1	-4	+4	0	-2	-2	-1
$+35 - +40$	-2	+1	-3	-4	0	-2	+1	-1	0	0	0
$+40 - +45$	0	0	-7	-3	+2	-2	+1	-1	-3	0	-3
$+45 - +50$	+3	0	-15	-1	-1	+3	+3	+1	-3	0	-2
$+50 - +55$	+4	+2	-21	-1	-5	+2	-5	+2	+7	+2	+5
$+55 - +60$	+4	+1	-20	-1	-8	0	-11	-1	+5	0	+6
$+60 - +65$	+5	+1	-2	+1	-8	+2	+3	0	+3	0	+3
$+65 - +70$	+3	0	+5	+3	+6	+1	+4	0	-4	-1	-3
$+70 - +75$	+2	0	+14	+2	+10	+2	+3	-1	-4	0	-5
$+75 - +80$	+1	-1	+13	+4	+6	+7	+10	+1	+2	0	+2
$+80 - +85$	+1	+1	+4	-2	-4	-3	+7	-2	+1	0	+1
$+85 - +90$	-3	-3	-4	-12	-26	-18	+3	-6	-5	+1	-7

Из табл. 1 видно, что разности прямых восхождений определяемых звезд (BS), полученные методами классическим и новым, в случае неучета инструментальной системы имеют явный

ход по склонению. В еще большей степени это относится к разностям $E - W$, особенно полученным классическим методом в околозенитной зоне. В несколько меньшей степени этот же эффект выражен у звезд FK_4 .

Непосредственное сравнение прямых восхождений определяемых звезд в каталогах KX' и KX , полученных, соответственно без учета инструментальной системы и с учетом последней, показывает, что между этими каталогами существуют заметные разности вида $\Delta\alpha_0$. Эти разности хорошо коррелируют с величинами $(O - C)_{FK_4}$, сгруппированными по зонам, (т. е. α опорной звезды, полученное из наблюдений с помощью найденных значений инструментальных параметров, минус α этой звезды, взятое из FK_4), что свидетельствует об их общей природе и косвенно указывает на тесную привязку каталога KX к опорной системе.

Таблица 2

Некоторые разности вида $\Delta\alpha_a \cos \delta$ (в $0^s,001$)

α	Зона +30—+50°			Зона +50—+70°			Зона + 70—+90°		
	$KX' -$ $-KX$	$(0-C)_{FK4}$		$KX' -$ $-KX$	$(0-C)_{FK4}$		$KX' -$ $-KX$	$(0-C)_{FK4}$	
		I	II		I	II		I	II
0—3 ^h	0	+1	-1	0	-1	-1	-2	+3	+1
3—6	0	+2	+2	0	0	0	-1	-1	+1
6—9	0	-1	-1	0	0	-1	0	+4	+2
9—12	-2	+1	+1	+2	0	0	+2	0	+1
12—15	-1	0	0	0	-1	-1	+1	0	-1
15—18	0	-1	-1	-2	+2	+3	-1	-2	-3
18—21	0	0	0	0	+2	+2	+2	-2	-1
21—24	0	+1	+1	0	+1	-1	+1	0	+1

Отсюда можно сделать вывод, что для принятой в [1] методики наблюдений и обработки общее влияние средней инструментальной системы на α_0 -систему определяемого каталога можно учесть простым вычитанием величин $(O - C)_{FK_4}$ из прямых восхождений звезд каталога KX' . Следует, однако, заметить, что учет инструментальной системы для каждой звезды, как это сделано в [1], предпочтительнее по следующим причинам: при обработке наблюдений соблюдается большая строгость, в основном снимаются внутренние противоречия результатов (довольно большие разности вида классический метод минус новый, $E - W$ для опорных и определяемых звезд) и, наконец, появляется возможность интерпретации системы инструмента.

Заметных разностей вида $\Delta\alpha_a$ между каталогами KX' и KX не обнаружено, так же как и хода с прямым восхождением у величин $(O - C)_{FK_4}$.

Из сказанного можно сделать вывод, что благодаря учету системы инструмента, Харьковский каталог прямых восхождений 1355 ярких звезд в зоне $+30 - +90^\circ$, приведенный в [1], удовлетворительно привязан к опорной системе *FK4*.

В случайном же отношении учет инструментальной системы незначительно сказался на точности результатов наблюдений.

Приведенная к экватору среднеквадратическая ошибка одного наблюдения определяемых звезд по всем зонам после учета средней системы уменьшилась примерно на $0^s,001$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зуев Н. Г. Результаты дифференциальных определений прямых восхождений в Харькове в 1968—1972 гг. — «РЖ Астр.», 1974, 1. 51. 161. Деп. (Рукопись депонирована в ВИНТИ 8 августа 1973 г. № 6547—73 Деп.). 130 с.
2. Заверев М. С., Положенцев Д. Д. Об одном методе редукции относительных меридианных наблюдений прямых восхождений с использованием ЭВМ — «Тр. АО ЛГУ», 1973, т. 29, с. 196—201.

УДК 522—617

А. Ф. ВАНЦАН,
А. Д. ЕГОРОВ,
З. А. РЫТОВА

АЛГОРИТМ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРИВОЙ ФОТОТОКА ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ НА ПАССАЖНОМ ИНСТРУМЕНТЕ

При наблюдениях на фотоэлектрическом пассажном инструменте с установкой цифрового накопления сигнала [1—3] регистрируются массивы чисел, представляющих собой сглаженные значения периодической кривой фототока $J(p_t, t)$. Сглаживание производится интегрированием по промежуткам времени τ , равным $1/16$ части периода:

$$F(p_t, t_k) = \int_{t_k - \tau/2}^{t_k + \tau/2} J(p_t, t) dt. \quad (1)$$

Здесь $F(p_t, t_k)$ — k -й член массива;

t_k — моменты времени, отнесенные к середине промежутков интегрирования;

p_t — определяемые параметры.

Наиболее вероятные значения параметров кривой фототока определяются методом максимального правдоподобия [4]. Задача сводится к решению системы уравнений

$$\frac{\partial L(p_i, t)}{\partial p_i} = 0, \quad (2)$$

где $L(p_i, t)$ — логарифмическая функция правдоподобия, заданная выражением:

$$L(p_i, t) \sim \sum_{k=1}^{16} [F^T(p_i, t_k) - F(p_i, t_k)]^2, \quad (3)$$

функция $F^T(p_i, t_k)$ представляет собой идеализированную кривую фототока, полученную численным методом на основе следующих предположений.

1. Распределение яркости по звездному изображению подчиняется нормальному закону:

$$f(\zeta, \varphi, x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta} \exp - \frac{(x - \varphi)^2}{2\zeta^2}, \quad (4)$$

где ζ — радиус звездного изображения;

x — текущая координата в направлении суточного движения звезды;

φ — фаза (координата вершины гауссовой кривой).

2. Решетка периодическая.

3. Основной световой поток от звезды не выходит за пределы двух периодов решетки.

В этих предположениях $F^T(p_i, t_k)$ является сверткой выражения (4) и единичной функции $G(p_i, x)$, имитирующей визирную решетку:

$$F^T(A, \eta, \zeta, \beta, \varphi, t_k) = A \left\{ \int_{\left(t_k - \frac{\tau}{2}\right)}^{\left(t_k + \frac{\tau}{2}\right)} \int_{\left(t_k - 16\tau\right)}^{\left(t_k + 16\tau\right)} f(\zeta, \varphi, x) \cdot G(\beta, x) dx dt + \eta \right\}. \quad (5)$$

Здесь A — амплитуда зарегистрированной кривой;

η — постоянная составляющая сигнала;

$G(\beta, x) = \begin{cases} +1 & \text{для прозрачных участков решетки,} \\ -1 & \text{для отражающих участков решетки;} \end{cases}$

$$\beta = \frac{d_2 - d_1}{2(d_2 + d_1)}, \quad (6)$$

где d_1 — ширина отражающих, а d_2 — ширина прозрачных штрихов решетки.

Предварительный анализ системы (2) показывает, что зависимость каждого из уравнений не является линейной относительно

параметров. Но при малой неопределенности значений каждого из них этой нелинейностью можно пренебречь, т. е. в малой окрестности значений параметров систему (2) можно свести к линейному виду. Для этого достаточно $\frac{\partial L(p_i, t)}{\partial p_i}$ представить рядом Тейлора, ограничившись линейными членами разложения. Для обеспечения достаточно малого интервала неопределенности значений параметров, система (2) решается последовательными приближениями с использованием интерполяционной формулы для модификации экспериментальных данных.

С учетом изложенных соображений был сформулирован алгоритм задачи, согласно которому числовые массивы упорядочиваются, определяются первые приближения параметров и после модификации экспериментальных данных определяются наиболее вероятные значения искомых параметров. Реализуется это в следующем порядке.

1. Вычисляется первое приближение постоянной составляющей и исключаются грубые ошибки:

$$\eta = \frac{\sum_{k=1}^n F(p_i, t_k) - \sum_{l=1}^m F_l(p_i, t_k)}{n - m}, \quad (7)$$

где n — число членов массива;

m — число грубых ошибок;

$F_l(p_i, t_k)$ — грубые ошибки, т. е. члены массива, более чем в два раза превышающие среднее из введенных чисел.

2. Исключается первое приближение постоянной составляющей:

$$\Phi(p_i, t_k) = F(p_i, t_k) - \eta. \quad (8)$$

3. Ищутся интервалы перемены знака массива $\Phi(p_i, t_k)$.

4. Определяется первое приближение фазы ψ кривой на интервалах перемены знака:

$$\psi = \frac{\Phi(p_i, t_{k+1}) + \Phi(p_i, t_k)}{2[\Phi(p_i, t_{k+1}) + \Phi(p_i, t_k)]} + k. \quad (9)$$

5. Вычисляется первое приближение фазы r -го периода кривой фототока:

$$\psi_r = \frac{\psi^+ + \psi^-}{2}, \quad (10)$$

где ψ^+ , ψ^- — фазы кривой на соседних интервалах перемены знака массивом с минуса на плюс и с плюса на минус.

6. Формируются массивы по периодам и исключается целая часть фазы: массивы перегруппировываются так, что порядковый номер восьмого числа в каждой r -й группе является целой частью ψ_r , т. е. каждый член массива определяется номером группы (периода) r и порядковым номером числа s в группе. Начало отсчета фазы φ_r периода переносится на середину периода.

7. Приводится каждый период кривой фототока к единичной амплитуде:

$$F_{rs}(p_i, t_k) = \frac{\Phi_{rs}(p_i, t_k)}{A_r}, \quad (11)$$

где

$$A_r = \frac{1}{4} \sum_s |\Phi_{rs}|, \quad s = 1, 7, 8, 16.$$

Полученный в результате выполнения перечисленных операций, числовой массив в первом приближении соответствует кривой фототока с амплитудой $A = 1$, постоянной составляющей $\eta = 0$ и фазой $\varphi = \varphi_r$, по модулю не превышающей $0,5\tau$.

По предварительным оценкам радиус звездного изображения $\zeta = 1,2\tau$, параметр неравномерности решетки $\beta = 0$.

8. Модификация числового массива осуществляется по интерполяционной формуле

$$F_{rs}^j(p_i, t_k) = F_{rs}^i(p_i, t_k) - \Delta F_{rs}^i(\Delta p_i, t_k), \quad (12)$$

где j — номер приближения,

$$\begin{aligned} \Delta F_{rs}^j = & \left(\sum_{i=1}^5 \frac{\partial}{\partial p_i} \Delta p_i \right) \cdot F^T(p_i, t_k) + \\ & + \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^5 \frac{\partial}{\partial p_i} \Delta p_i \right)^2 \cdot F^T(p_i, t_k) + \\ & + \frac{1}{6} \left(\sum_{i=1}^5 \frac{\partial}{\partial p_i} \Delta p_i \right)^3 \cdot F^T(p_i, t_k). \end{aligned} \quad (13)$$

Эта операция изменяет экспериментальные данные таким образом, что отличие между $F_{rs}(p_i, t_k)$ и $F^T(p_i, t_k)$ уменьшается. Начальные значения поправок (при $j = 0$) равны:

$$\Delta A = \Delta \zeta = \Delta \beta = \Delta \eta = 0, \quad \Delta \varphi = \varphi_r.$$

Для последующих модификаций массива (11) используются результаты решения системы уравнений $\frac{\partial L(p_i, t)}{\partial p_i} = 0$, приведенной к линейному виду.

9. Решается система уравнений.

Если ограничиться линейным приближением в разложении системы, то она принимает вид:

$$\Delta A L''_{AA} + \Delta \zeta L''_{\zeta A} = -L'_A;$$

$$\Delta A L''_{\eta \beta} + \Delta \zeta L''_{\zeta \zeta} = -L'_\zeta;$$

$$\Delta\eta L''_{\eta\eta} + \Delta\beta L''_{\beta\eta} = -L'_{\eta} \quad (14)$$

$$\Delta\eta L''_{\eta\beta} + \Delta\beta L''_{\beta\beta} = -L'_{\beta}$$

$$\Delta\varphi L''_{\varphi\varphi} = -L'_{\varphi}$$

(штрихами обозначена операция дифференцирования). Значения производных от функции правдоподобия по параметрам $L''_{p_i p_j}$ табулируются для $\Delta p_i = 0$. Количество приближений определяется величиной разности значений параметров соседних итераций. Максимальная вычислительная погрешность каждого параметра определяется точностью интерполяционной формулы (12) и не превышает величины 0,5%.

10. Определяются наиболее вероятные значения параметров для каждого периода:

$$P_r = p_r + \sum_i \Delta p_{r,i}.$$

11. Получаются средние значения параметров и оценивается их точность. При вычислении средних значений и дисперсий параметров для звезды периоды с грубыми ошибками во внимание не принимаются.

По описанному алгоритму составлена программа для ЭЦВМ «Минск-2» и проводятся вычисления. Результаты счета по наблюдениям 1971—1974 гг. изложены в [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров А. Д. Регистратор фототока на магнитной ленте. — «Вестник Харьк. ун-та, Астрономия», вып. 5, № 52, 1970, с. 70—73.
2. Егоров А. Д. О синхронном накоплении сигнала при наблюдениях на фотоэлектрическом пассажном инструменте. — «Вестник Харьк. ун-та, Астрономия», вып. 6, № 65, 1971, с. 84—87.
3. Егоров А. Д. Аппаратура и методика синхронного накопления сигналов при наблюдениях на пассажном инструменте. — Укр. республ. научнотехнич. конференция, тез. докл., 1972, с. 10—11.
4. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники, т. 2. М., «Сов. радио», 1968. 256 с.
5. Ванцан А. Ф., Егоров А. Д., Рытова З. А. Определение параметров кривой фототока из наблюдений с установкой цифрового накопления сигнала. — Всесоюзное совещание по автомат. регистр. времени и определ. координат, тез. докл., г. Рига, 1974, с. 6—7.

УДК 629.78:523.152.3

В. А. ЕЗЕРСКАЯ, В. И. ЕЗЕРСКИЙ,
Н. П. ЛАВРОВА, В. А. ПСАРЕВ

ДЕТАЛЬНАЯ ФОТОМЕТРИЯ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО ФОТОГРАФИЯМ АМС «ЗОНД-8»

Для решения многих современных задач геологии и физики Луны необходимо знать такие оптические характеристики, как нормальное альbedo, фотометрическая функция, показатель цвета.

При этом важно, чтобы совокупность значений этих параметров носила, по возможности, глобальный характер и соответствовала различным величинам пространственного разрешения.

В этом отношении большие возможности имеют эксперименты, осуществляемые с помощью космических аппаратов пролетного и орбитального вариантов. Очень ценные и полные материалы для картографических и фотометрических исследований Луны получены при полете автоматической межпланетной станции «Зонд-8» [1]. С борта «Зонд-8» было проведено три сеанса фотографирования. Во время второго сеанса, 23 октября 1970 г., при подлете сфотографирована Луна на расстоянии около 10 000 км.

В настоящей статье приведены основные результаты детальных фотометрических исследований одной из оригинальных фотографий Луны, полученной в начале второго сеанса фотографирования АМС «Зонд-8».

Имея в виду всесторонний характер фотометрических исследований, был проведен полный расчет необходимых геометрических и фотометрических параметров применительно к данному снимку.

Схема расположения космического аппарата и направления солнечных лучей относительно лунной поверхности приведена на рис. 1. Положение аппарата определяется его высотой над лунной поверхностью (Н), наклонной дальностью (L) и селенографическими координатами подаппаратной точки C' — (φ_c , λ_c), а направление на Солнце — селенографическими координатами подсолнечной точки S' — (φ_s , λ_s).

Условия освещения и наблюдения участка лунной поверхности N' с селенографическими координатами (φ , λ) характеризуются углом освещения $i = \angle NS$, углом отражения $\varepsilon = \angle NC$, углом фазы $\alpha = \angle CS$, разностью азимутов a , а также фотометрической долготой $l = \angle CK$, фотометрической широтой $b = \angle KN$. Кроме указанных основных величин, введены еще дополнительные величины, смысл которых ясен из рис. 1:

$$a' = \angle C'S'; \quad i' = \angle N'S'; \quad \varepsilon' = \angle C'N';$$

$$l' = \angle C'K'; \quad b' = \angle K'N'; \quad a = a_c - a_s.$$

Углы i , ε и α определяются по следующей совокупности формул, вытекающих из сферических треугольников рис. 1:

$$\cos i = \sin \varphi \cdot \sin \varphi_s + \cos \varphi \cdot \cos \varphi_s \cdot \cos (\lambda_s - \lambda), \quad (1)$$

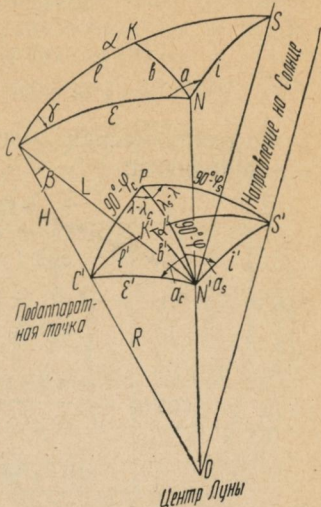


Рис. 1 Схема расположения космического аппарата и направления солнечных лучей относительно поверхности Луны.

$$\cos \varepsilon' = \sin \varphi \cdot \sin \varphi_c + \cos \varphi \cdot \cos \varphi_c \cdot \cos (\lambda - \lambda_c), \quad (2)$$

$$L = [R^2 + (R + H)^2 - 2(R + H) \cdot R \cdot \cos \varepsilon']^{1/2}, \quad (3)$$

$$\beta = \arcsin \frac{R \cdot \sin \varepsilon'}{L}, \quad (4)$$

$$\varepsilon = \varepsilon' + \beta, \quad (5)$$

$$\cos a = \frac{1}{\sin \varepsilon' \sin i} [\sin \varphi_c \cdot \sin \varphi_s +$$

$$+ \cos \varphi_c \cdot \cos \varphi_s \cdot \cos (\lambda_s - \lambda_c) - \cos \varepsilon' \cdot \cos i], \quad (6)$$

$$\cos \alpha = \cos i \cdot \cos \varepsilon + \sin i \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos a. \quad (7)$$

Фотометрическая долгота и широта определяются следующими соотношениями:

$$\operatorname{tg} l = \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \gamma, \quad (8)$$

$$\cos \gamma = \frac{\cos i - \cos \alpha \cdot \cos \varepsilon}{\sin \alpha \cdot \sin \varepsilon}, \quad (9)$$

$$\sin a_c = \sin (\lambda - \lambda_c) \cdot \frac{\cos \varphi_c}{\sin \varepsilon'}, \quad (10)$$

$$\cos a_c = \frac{\cos \varphi \cdot \sin \varphi_c - \sin \varphi \cdot \cos \varphi_c \cdot \cos (\lambda - \lambda_c)}{\sin \varepsilon'}, \quad (11)$$

$$\sin a_s = \sin (\lambda - \lambda_s) \cdot \frac{\cos \varphi_s}{\sin i}, \quad (12)$$

$$\cos a_s = \frac{\cos \varphi \cdot \sin \varphi_s - \sin \varphi \cdot \cos \varphi_s \cdot \cos (\lambda - \lambda_s)}{\sin i}, \quad (13)$$

$$\sin a = \sin a_c \cdot \cos a_s - \sin a_s \cdot \cos a_c, \quad (14)$$

$$\sin \gamma = \sin a \cdot \frac{\sin i}{\sin \alpha}, \quad (15)$$

$$\sin b = \sin \varepsilon \cdot \sin \gamma. \quad (16)$$

Из формулы (8) следует, что знак фотометрической долготы определяется знаком $\cos \gamma$, т. е. фотометрическая долгота считается положительной, если проекция нормали к поверхности в исследуемой точке на плоскость фазового угла лежит по одну сторону с подсолнечной точкой S относительно аппаратной точки C .

При расчетах, которые были проведены на ЭЦВМ М-220, определялось также значение нормированной к нулевой фазе яркости по формуле Хапке [2], причем для фактора упаковки принималось значение $g = 0,6$, хорошо представляющего среднюю фотометрическую функцию лунной поверхности. Вычисления проводились с шагом $\Delta \varphi = \Delta \lambda = 2^\circ$. Были построены системы изолиний следующих величин:

- 1) угла фазы α , заключенного в пределах от 31 до 48° с шагом $\Delta \alpha = 1^\circ$;

- 2) фотометрической долготы l , заключенной в пределах от -50 до $+80^\circ$ с шагом $\Delta l = 10^\circ$;
- 3) фотометрической широты b , заключенной в пределах от -80 до $+80^\circ$ с шагом $\Delta b = 10^\circ$;
- 4) параметра $x = \frac{\cos l}{\cos \varepsilon}$, заключенного в пределах от 0,4 до 3,0 с шагом $\Delta x = 0,1$;
- 5) коэффициента редукции яркости к нулевой фазе (нормальному альбедо) по формуле Халпе, заключенного в пределах 1,6—5,6.

Сетка коэффициента редукции к нормальному альбедо приведена на рис. 2, на котором нанесена также и сетка селенографических координат.

Учитывая, что исследуемая фотография включает значительную часть видимой стороны Луны, для калибровки и стандартизации был применен метод опорных деталей в том варианте, который использовался и при фотометрическом анализе снимков Луны, доставленных АМС «Зонд-3» [3]. По данным Харьковского фотометрического каталога [4] и фотометрического каталога деталей обратной стороны Луны [3] были определены значения яркостного фактора избранных 50 деталей применительно к условиям снимка Луны АМС «Зонд-8». Полученная таким образом калибровочная кривая, точность которой характеризуется средним квадратичным отклонением $\sigma = \pm 0,03$, приведена на рис. 3.

Фотометрические исследования фотографии Луны, полученной АМС «Зонд-8» (рис. 7), включали:

1) дискретные определения яркости отдельных, наиболее характерных деталей и морфологических образований либрационной зоны и обратной стороны Луны;

2) глобальные фотометрические измерения с равным интервалом в прямоугольной системе координат снимка с целью создать цифровую карту нормального альбедо и провести статистические подсчеты распределения нормального альбедо в отдельных районах;

3) фотографическую эквиденситометрию в целях выделения участков с небольшими интервалами значения яркостного фактора;

4) фотометрические разрезы с целью изучить распределение нормального альбедо в граничных зонах материк — море и областях, представляющих интерес для изучения фотометрической функции ($x = 1$; $b \geq 70^\circ$).

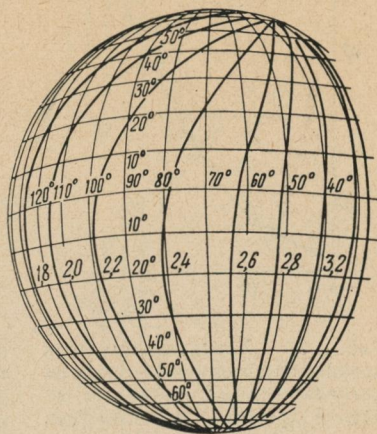


Рис. 2. Схема равных значений коэффициента редукции к нормальному альбедо.

Результаты дискретных фотометрических измерений представлены в табл. 1, в которой даны селенографические координаты φ , λ , угол фазы α , параметр $x = \frac{\cos i}{\cos \varepsilon}$, яркостный фактор ρ и нормальное альbedo ρ_0 , редуцированное по средней фотометрической

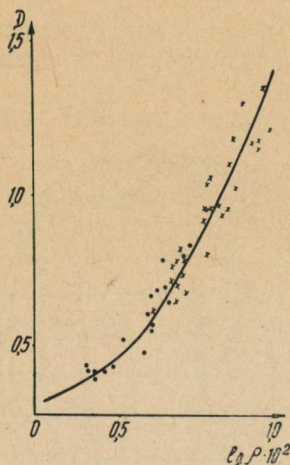


Рис. 3. Характеристическая кривая, построенная по опорным деталям видимой (точки) и обратной (крестики) стороны Луны.

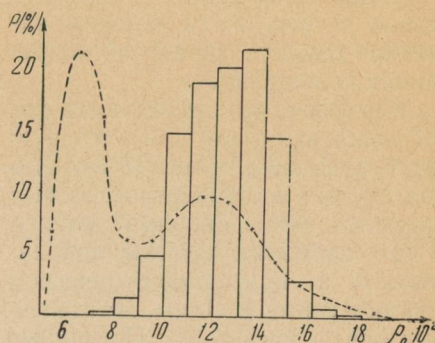


Рис. 4. Статистическое распределение нормального альbedo участка западного сектора обратной стороны Луны отмеченного на рис. 7. Пунктирная кривая—статистическое распределение нормального альbedo видимого полушария Луны по Саари и Шортхиллу.

функции. Отметим, что редукция на нулевую фазу по формуле Хапке при $q = 0,6$ в данном случае оправдана, так как анализ первого фотометрического каталога деталей обратной стороны Луны показал, что имеет место значительная степень фотометрической однородности и что фотометрическая функция близка к значениям, полученным для фотометрически средней поверхности.

В табл. 1 обращает на себя внимание высокое значение нормального альbedo кратера Бюрги (0,226).

Статистическое распределение нормального альbedo области либрационной зоны и обратной стороны Луны, отмеченной на рис. 7, дано на гистограмме рис. 4, на котором для сравнения показана также аналогичная зависимость для видимой стороны Луны по данным Саари и Шортхилла [5]. Рассмотрение рис. 4 приводит к следующим заключениям. Как уже было отмечено в работе [3], на обратной стороне Луны относительно мало вещества с малым ($\leq 0,07$) и высоким ($\geq 0,16$) значениями альbedo. Вещество с альbedo в интервале 0,10—0,15

занимает около 90% поверхности диска. Кривая статистического распределения нормального альbedo для материка имеет в основном симметричный характер, в то время как для видимой стороны характерен резкий спад в сторону малых значений альbedo и плавный ход в области больших значений.

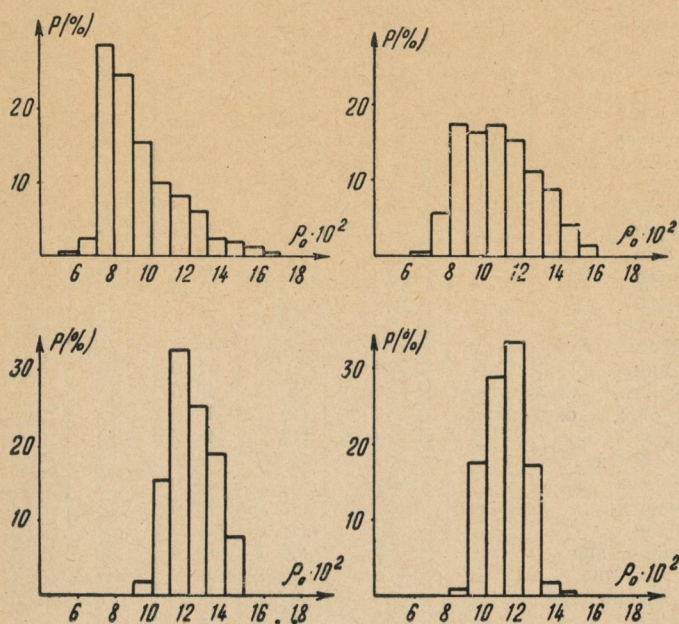


Рис. 5. Статистическое распределение нормального альbedo участков лунных морей, положение которых отмечено на рис. 4: а — Море Влажности (молодой участок); б — Море Влажности (древний участок); в — Море Осени, Море Весны, Море Мирное; г — Море Восточное.

Представляет интерес и рассмотрение гистограмм статистического распределения нормального альbedo отдельных областей, представленных на рис. 5 и 6.

Для Моря Восточного, Морей Осени и Весны характерны более высокие значения нормального альbedo по сравнению с Морем Влажности и меньшая дисперсия. Обращает на себя внимание и то обстоятельство, что для более молодого района Моря Влажности, по данным Мак-Коли [6], альbedo меньше, чем для более древнего района и имеет более крутой спад в области самых малых значений альbedo. Для более древнего района характерно увеличение дисперсии кривой статистического распределения нормального альbedo и возрастание среднего значения альbedo.

Таблица 1

№ п/п	Наименование	φ	$-\lambda$	α	x	$\rho \cdot 10^2$	$\rho_0 \cdot 10^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ольберс, центр	+8°,0	77°,8	40°,6	0,92	7,23	17,21
2	Эйнштейн	+19,2	86,9	42,4	1,12	8,81	19,6
3	Бальбоа А	+17,2	82,4	41,7	1,03	9,52	21,8
4	Ленц, лучевая система	+2,9	100,2	44,1	1,26	8,55	18,6
5	Ленц	+3,5	101,6	44,2	1,30	7,38	15,9
6	Шлюттер	-5,6	82,4	41,2	0,95	4,90	11,6
7	Шлюттер	-5,7	81,9	41,0	0,93	6,28	14,9
8	Хартвиг	-6,2	81,1	41,0	0,93	5,55	13,2
9	Кратер	-3,4	97,6	43,5	1,19	7,38	16,3
10	Штернберг	+18,9	114,3	45,8	1,90	7,45	14,2
11	Штернберг	+19,5	113,2	44,4	1,78	6,52	12,6
12	Кратер	+16,8	96,9	43,6	1,30	4,97	10,6
13	Кратер	+15,9	95,6	43,5	1,23	6,73	14,6
14	Кратер	+12,0	93,7	43,2	1,17	8,34	18,3
15	Зундман	11,9	92,8	43,1	1,17	6,81	15,1
16	Ридберг	-46,5	96,7	41,5	1,17	6,35	13,8
17	Гутник	-48,0	92,8	41,0	1,09	6,58	14,5
18	Ферсман, окрестности	+13,0	127,0	46,8	2,68	8,71	15,2
19	Ферсман, окрестности	+12,8	125,0	46,6	2,43	7,13	12,7
20	Кратер	+4,8	109,3	45,3	1,54	6,73	13,7
21	Горы Рука	-17,7	103,3	44,1	1,26	6,73	14,5
22	Кратер	-21,9	115,5	44,9	1,58	8,47	16,9
23	Кратер	-23,9	118,5	45,6	1,78	6,44	12,5
24	Кратер	-23,9	116,8	44,9	1,67	7,23	14,3
25	Стеклов, дно	-36,8	105,1	42,9	1,30	6,05	12,7
26	Пенгре, дно	-59,2	73,8	38,8	0,88	6,21	14,6
27	Кавельери, дно	+4,8	67,0	38,8	0,79	6,00	15,1
28	Струве	+25,4	83,0	41,8	1,08	6,81	15,3
29	Океан Бурь	+25,9	82,0	41,0	1,08	4,04	9,1
30	Рессел, дно	+27,0	75,8	40,7	0,99	3,74	8,4
31	Рессел, В	+26,8	77,9	41,1	1,02	5,47	12,5
32	Эддингтон, дно	+23,1	71,7	39,9	0,92	3,96	9,4
33	Эддингтон, вал	+24,2	71,9	40,1	0,92	5,40	12,8
34	Кардан	+13,1	72,1	39,9	0,88	4,97	12,0
35	Озеро Лета	-15,6	68,6	38,4	0,76	4,63	11,7
36	Озеро Лета	-15,3	69,0	38,8	0,79	6,12	15,5
37	Материк	-12,4	114,5	45,3	1,61	5,92	11,8
38	Материк	-12,6	114,0	45,3	1,61	8,17	16,4
39	Горы Рука	-21,9	98,2	42,9	1,16	6,97	15,3
40	Море Восточное	-23,3	97,9	42,9	1,15	5,14	11,4
41	Горы Рука	-23,2	96,7	42,7	1,14	6,21	13,8
42	Море Восточное	-23,0	94,8	42,6	1,11	4,37	9,8
43	Горы Рука	-24,6	95,9	42,4	1,11	6,44	14,4
44	Море Восточное	-27,7	98,5	42,7	1,16	4,37	9,6
45	Море Восточное	-22,5	93,6	42,2	1,07	5,09	11,5
46	Море Восточное	-22,3	93,2	42,3	1,07	3,66	8,3
47	Горы Рука	-28,7	98,0	42,7	1,16	7,76	17,1
48	Море Восточное	-28,0	97,7	42,7	1,15	4,55	10,1
49	Горы Рука	-27,4	96,9	42,6	1,15	7,31	16,2
50	Рессел К	+28,7	85,0	42,1	1,14	5,20	11,4
51	Горы	+3,9	90,8	42,6	1,09	9,04	20,5
52	Горы	+3,0	90,2	42,6	1,08	6,21	14,2

1	2	3	4	5	6	7	8
53	Бригс, дно	+27° 0	69° 4	39° 9	0,92	5,27	12,4
54	Лихтенберг, дно	+31° 7	68° 0	39° 7	0,92	4,90	11,5
55	Лавуазье А, дно	+37° 3	73° 2	40° 6	1,06	4,55	10,1
56	Репсольд С, дно	+49° 2	76° 0	41° 2	1,32	3,96	8,1
57	Байи	-66° 2	64° 0	38° 2	0,82	5,27	13,0
58	Байи, дно	-64° 9	63° 3	38° 0	0,79	5,04	12,5
59	Хаузен	-63° 9	92° 0	40° 2	1,15	4,57	9,2
60	Хаузен	-65° 0	92° 5	40° 0	1,16	5,81	12,2
61	Хаузен	-62° 5	86° 9	39° 7	1,09	6,52	14,3
62	Хаузен	-66° 4	85° 4	39° 5	1,06	5,92	13,0
63	Хаузен	-69° 5	96° 0	39° 9	1,29	5,81	11,8
64	Океан Бурь	+40° 5	75° 9	40° 9	1,10	5,04	11,0
65	Лавуазье	+38° 0	80° 9	41° 5	1,18	4,55	9,8
66	Лавуазье, дно	+32° 3	82° 0	41° 8	1,14	2,99	6,4
67	Улугбек Д	+30° 9	82° 0	41° 8	1,12	4,37	9,7
68	Улугбек А, дно	+33° 0	79° 2	41° 5	1,01	3,08	6,8
69	Океан Бурь	+32° 6	78° 5	41° 1	1,06	3,91	6,5
70	Лавуазье С, дно	+35° 9	76° 7	41° 0	1,09	3,37	7,5
71	Жерар	+46° 7	82° 0	41° 8	1,37	3,37	6,8
72	Лаччини	+41° 0	105° 8	44° 2	1,93	7,03	13,1
73	Лаччини	+41° 4	107° 8	44° 4	2,05	6,64	12,2
74	Лаччини	+38° 0	107° 9	44° 5	1,89	7,52	14,0
75	Горы Кордильеры	-13° 4	109° 4	44° 8	1,45	8,47	17,5
76	Горы Кордильеры	-12° 8	109° 6	44° 9	1,45	7,03	14,6
77	Горы Кордильеры	-9° 5	109° 8	44° 9	1,46	8,17	16,9
78	Горы Кордильеры	-9° 5	110° 9	44° 9	1,46	6,35	13,1
79	Горы Кордильеры	-10° 6	107° 7	44° 7	1,39	7,93	16,7
80	Горы Кордильеры	-10° 7	108° 7	44° 7	1,42	6,35	13,3
81	Горы Рука	-13° 3	94° 3	42° 9	1,12	10,0	22,5
82	Маульдер	-15° 0	94° 3	42° 8	1,12	4,76	10,7
83	Маульдер	-14° 5	93° 6	42° 5	1,08	5,88	13,3
84	Маульдер	-14° 0	92° 7	42° 5	1,08	5,61	12,7
85	Горы Кордильеры	-2° 4	92° 1	42° 8	1,10	6,57	15,8
86	Горы Кордильеры	-22° 4	91° 2	42° 9	1,10	6,35	14,4
87	Горы Рука	-28° 2	90° 8	41° 7	1,03	6,64	15,2
88	Горы Рука	-29° 0	90° 5	41° 6	1,03	7,85	18,0
89	Горы Рука	-29° 7	90° 3	41° 6	1,03	6,12	14,0
90	Фокас	-33° 9	93° 5	41° 7	1,07	6,73	15,1
91	Горы Кордильеры	-34° 4	91° 6	41° 5	1,07	6,28	14,2
92	Горы Кордильеры	-35° 2	91° 2	41° 6	1,07	6,05	13,7
93	Бааде	-44° 6	81° 8	40° 0	0,93	5,74	13,4
94	Бааде	-46° 0	80° 6	39° 7	0,92	5,27	12,4
95	Бааде	-44° 9	80° 4	39° 7	0,92	7,15	16,8
96	Горы Кордильеры	-27° 5	81° 4	40° 3	0,91	5,81	13,8
97	Горы Кордильеры	-27° 7	82° 1	40° 6	0,93	7,93	18,7
98	Горы Кордильеры	-27° 5	80° 7	40° 2	0,90	5,94	13,8
99	Горы Рука	-17° 9	80° 0	40° 4	0,92	5,88	14,1
100	Горы Рука	-18° 6	80° 9	40° 6	0,90	4,93	11,1
101	Горы Рука	-18° 0	80° 0	40° 6	0,90	4,70	11,3
102	Горы Рука	-18° 5	79° 7	40° 4	0,90	3,76	11,5
103	Горы Кордильеры	-19° 2	78° 8	40° 2	0,87	7,52	17,2
104	Эйхштедт	-23° 1	78° 0	39° 9	0,87	6,81	16,6
105	Аристарх, дно	+23° 6	47° 3	36° 5	0,63	6,70	21,2

1	2	3	4	5	6	7	8
106	Бюрги	-24,9	63,8	37,5	0,71	8,72	22,6
107	Ингирами	-47,8	67,3	38,2	0,79	5,14	12,9
108	Райт	-31,5	86,8	41,0	0,97	6,35	14,7
109	Шейлер	-32,9	85,5	40,8	0,96	6,05	14,2
110	Шейлер	-32,2	82,1	40,4	0,93	5,88	13,9
111	Горы Кордильеры	-32,0	84,7	40,8	0,96	6,58	15,4
112	Копор	-17,9	89,3	42,0	1,04	5,20	12,0
113	Горы Рука	-14,5	84,0	41,3	0,97	7,60	18,0
114	Эйнштейн А	+16,7	88,1	42,4	1,11	6,21	13,9
115	Кратер	+16,0	108,9	45,3	1,54	7,60	15,2
116	Кратер	+15,9	109,4	45,3	1,63	6,81	13,6
117	Кратер	+15,2	110,0	45,3	1,63	6,64	13,3
118	Горы Кордильеры	-19,1	79,2	40,4	0,90	5,20	12,5
119	Озеро Осени	-10,8	83,8	41,1	0,94	4,49	10,6
120	Озеро Осени	-11,6	83,4	41,0	0,93	5,55	13,1
121	Горы Кордильеры	-14,0	81,0	40,8	0,92	4,70	11,2
122	Горы Кордильеры	-11,6	79,5	40,6	0,87	6,64	15,9
123	Горы Кордильеры	-12,0	82,5	41,0	0,94	4,63	11,1

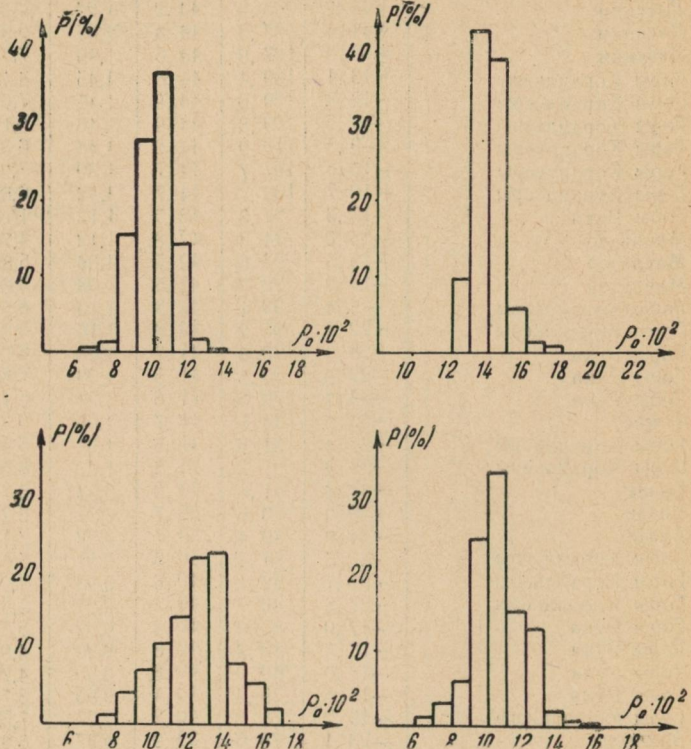


Рис. 6. Статистическое распределение нормального альbedo участков материка, положение которых отмечено на рис. 4: д — район северного Рентгена; е — район кратера Кеплер; ж — район кратеров Бааде, Бувар; з — район севернее Залива Радуги.



Рис. 7. Снимок Луны, полученный АМС «Зонд-8» с расстояния около 10 000 км. На снимке обозначены области, для которых проведено определение статистического распределения нормального альбедо.



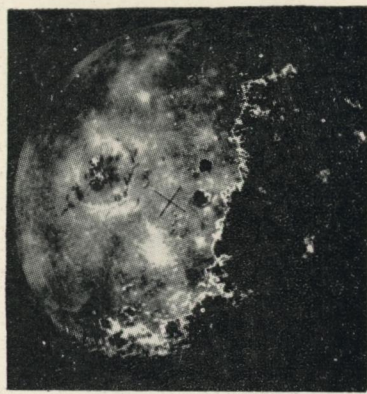
a



б



в



г



д



е

Рис. 8. Распределение на лунной поверхности вещества с указанным интервалом значений яркости фактора:
a — $\rho=0,0302-0,0343$; *б* — $\rho=0,358-0,0404$; *в* — $\rho=0,0398-0,0437$; *г* — $\rho=0,0424-0,0463$; *д* — $\rho=0,0463-0,0509$; *е* — $\rho=0,0509-0,0588$.

Материковые участки, расположенные на обратной стороне Луны, отличаются меньшей дисперсией нормального альbedo, т. е. большей однородностью этого параметра по сравнению с аналогичными участками видимой стороны Луны. Характерно, что для материкового участка намечается более плавный ход в области малых значений альbedo по сравнению с областью больших значений альbedo.

Выявленные особенности статистического распределения нормального альbedo согласуются с развитыми в работе [8] представлениями, согласно которым вещество морских комплексов со временем светлеет, а материковое вещество, наоборот, темнеет.

Для детального изучения распределения по лунной поверхности вещества с различным альbedo и его соотношения с морфологией и структурой методом фотографической эквиденситометрии были выделены области с небольшими интервалами плотности и яркости исходного снимка. Предварительно оригинальный негатив был перепечатан на контрастных фотопластинках *FU-5* с различными экспозициями. Полученные таким путем изображения были подвергнуты обычному процессу фотографической эквиденситометрии, описанному в [7]. Полученные эквиденситометрические изображения первого порядка калибровались путем фотометрических измерений оригинального негатива в пределах областей, выделяемых на эквиденситометрических изображениях.

Применение непрерывного фотометрического клина в процессе фотометрической обработки дало возможность отбирать эквиденситометрические изображения с незначительно перекрывающимися интервалами плотности и яркости. Полученные таким образом изображения эквиденсит фотографическим путем совмещались с исходным изображением, на котором они представлены белыми участками. Такой способ представления эквиденсит дает возможность детального изучения характера и особенностей распределения на лунной поверхности вещества с различным альbedo. Это хорошо видно на рис. 8, *a—e*. Значения интервалов яркостного фактора, альbedo и относительной площади в тысячных долях площади диска, соответствующих этим изображениям, приведены в табл. 2.

Изучая приведенные на рис. 8, *a—e* изображения, следует обратить внимание на то, что величина площади выделяемых эквиденситометрических участков, а также их форма и структура существенно отличаются. Так, области, выделяемые в морских зонах, занятых веществом со сравнительно низким альbedo, более компактны, имеют более правильную, регулярную форму. Это в равной мере относится и к большим участкам Океана Бурь и отдельных морских впадин, а также к доньям многих крупных кратеров. Например, на рис. 8, *a* выделяется значительная часть морского

процелляриевого комплекса с нормальным альбедо в интервале 0,089—0,097. Выделяются области лучевых систем Аристарха и Кеплера, обозначены участки доньев Гримальди и Струве с низким альбедо. На рис. 8, б выделяются участки внутреннего бассейна Моря Восточного, кратеров Шиккард, Риччиоли, Гассенди. Четко просматривается распределение вещества вблизи береговой зоны Океана Бурь. Интересно отметить, что наиболее темное вещество в небольших морях и больших плоскодонных кратерах дислоцируется, как правило, в периферийных, а не в центральных частях этих образований.

Для областей, выделяемых эквиденситами на материке, характерна более нерегулярная, клочковатая структура. Это определяется, отчасти, сложным характером рельефа материковых областей, наличием многочисленных кратеров на пределе разрешения, а также иными эволюционными процессами. В данном случае, по-видимому, более существенную роль играют процессы ударные. Примером таких клочкообразных, ячеистых форм распределения вещества по поверхности могут служить выделенная на рис. 8, в область между Морем Восточным и талассондом Кибальчич, область вокруг яркого кратера Бюрги, участок материка южнее Моря Мирного.

Большой интерес для исследования представляют зоны перехода от морских к материковым образованиям. Эквиденситы, выделяющие такие переходные зоны, имеют четко выраженный характер оконтуривания областей с более высоким или более низким альбедо. Переходные зоны представляют собой участки поверхности, характеризующиеся высоким пространственным градиентом альбедо устилающего их вещества. Это, в основном, и определяет характер выделяемых эквиденсит. В таком толковании верно и обратное утверждение — ширина эквиденсит может служить количественной, частично-альбедной характеристикой исследуемых участков поверхности. Узость переходной зоны может быть вызвана резким перепадом высот на поверхности и относительно молодым возрастом окаймленных образований. Процессы переноса вещества, а также общее нивелирование, вызванное воздействием внешних космических факторов, в последнем случае еще не успели «размыть» зону перехода и она довольно узка. Наглядными примерами могут служить узкие переходные зоны, окаймляющие внутренний бассейн Моря Восточного, кратер Гримальди, темные участки днищ кратеров Риччиоли, Шиккард, Гассенди (рис. 8, г). Предельно четко оконтурены также моря Мирное, Весны, Осени, Лета (рис. 8, д). Следует отметить, что малые моря, кратеры, днища которых заполнены лавой, отдельные проплавления расположены, главным образом, вдоль границы Океана Бурь в зоне шириной около 10—15°, (рис. 8, е). Естественно предположить, что такое расположение подобного типа образований связано с малой тол-

шиной лунной коры в этой области или непосредственно с процессом образования Океана Бурь. Море Восточное — вторая область, где сконцентрированы образования указанного типа.

Предметом тщательного исследования может служить и переходная зона между Океаном Бурь и материковым щитом. Эта зона выделена эквиденситами на рис. 8, *в, г, д*. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что вещество, располагающееся непосредственно вблизи границы материк — моря, занимает незначительную часть поверхности по сравнению с веществом с другим альбедо при примерно одинаковом значении интервала альбедо. Переменная ширина этой пограничной зоны, узость ее центральной части, по-видимому связаны с различной степенью интенсивности процессов переноса вещества в отдельных участках береговой зоны.

Линейные структуры, выделяемые эквиденситами на материке, связаны в основном с большими кратерами и представляют лучевые системы последних. На рис. 8, *е* выделяется мощная лучевая система кратера Бюрги, видны отдельные лучи кратера Штернберг.

На рис. 8, *д, е* отражен переход к более светлому веществу, сначала вблизи береговой зоны, а затем и на основном материковом массиве.

Форма эквиденсит, выделяющих участки поверхности в заданном интервале значений яркостного фактора, может характеризовать не только особенности распределения вещества по поверхности, но и форму поверхности. Так, в случае, если днище кратера представляет сферический сегмент, нормаль к элемен-

Таблица 2

Изображение	Интервал значений яркостного фактора, ρ	Интервал значений нормального альбедо, ρ_0	Площадь, выделенная эквиденситами (в тысячных долях площади диска)
8а	0,0302—0,0343	0,089—0,097	57,2
8б	0,0358—0,0404	0,097—0,109	32,4
8в	0,0398—0,0437	0,108—0,118	21,3
8г	0,0424—0,0463	0,114—0,125	16,1
8д	0,0463—0,0509	0,120—0,127	38,8
8е	0,0509—0,0588	0,122—0,138	92,5

там поверхности днища в отдельных частях его занимает различные положения, что приводит к определенному ходу яркостного фактора в пределах кратера, и это выразится в специфич-

ной «подковообразной» форме эквиденсит. Проводя точные геометрические измерения эквиденсит, можно восстановить геометрические формы соответствующих образований.

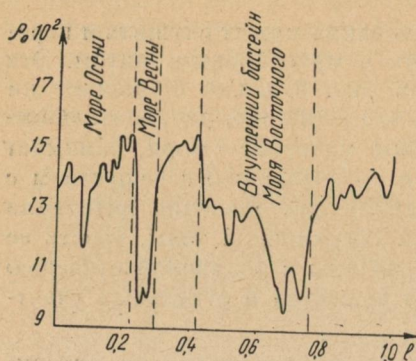


Рис. 9. Фотометрический разрез Моря Восточного, отмеченный на рис. 4.

детальное сопоставление фотометрических характеристик с рельефом и топографией местности.

В этом отношении представляют интерес и фотометрические разрезы, располагающиеся нормально к пограничной зоне. Один из таких разрезов, пересекающий Море Восточное, показан на рис. 9.

На рис. 9 четко просматриваются внешняя кордильера бассейна, а также покровы морского вещества отдельных бассейнов, обладающих различным нормальным альбедо и относящихся по данным структурно-геологической схемы В. Г. Трифонова [9] к различным стратиграфическим периодам, возможно от наиболее молодых до наиболее древних.

В заключение авторы приносят глубокую благодарность Т. И. Безуглой, Н. С. Олиферу и О. И. Антиповой за помощь, оказанную при проведении вычислений и подготовке иллюстрированного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В. Д., Лазрова Н. П. Научный фотографический эксперимент космических станций «Зонд» — «Земля и Вселенная», 1972, № 5, с. 12—16.
2. В. Нарке. J. Geophys. Res., 1963, vol. 68, p. 4545—4570.
3. Барабашов Н. П., Белоброва О. И., Езерская В. А. Фотометрические характеристики избранных объектов восточного сектора обратной стороны Луны. — В кн.: Атлас обратной стороны Луны, ч. 2. М., «Наука», 1967, с. 179—214.
4. Федорец В. А. Фотографическая фотометрия лунной поверхности. — «Труды астрон. obs. ХГУ», 1952, т. 2 (10), с. 49—172.

5. Saari J. M., Shorthill R. W. «Moon», 1972, vol. 1. 5, № 2, p. 161—178
6. Mc. Cauley J. F., Wilhelms D. E. «Icarus», 1971, vol. 1. 15, p. 363—367.
7. Брейдо И. И., Чеботарева Т. П. Эквиденситометрический метод, основанный на фотометрическом эффекте Сабатье, и его применение к фотометрии туманностей и комет. — «Изв. ГАО АН СССР», 1966, т. 24, вып. 4, № 180, с. 159—171.
8. Езерский В. И., Езерская В. А., Латынина И. И., Лацько В. И. О соотношении нормального альbedo участков лунных морей с кратерной плотностью. — «Вестник Харьк. ун-та. № 99, Астрономия», 1973, вып. 8, с. 9—18.
9. Трифонов В. Г. Геология лунных морских впадин. — В кн.: Вулканизм и тектоника Луны. М., «Наука», 1974, с. 174—247.

УД 523.42

О. М. СТАРОДУБЦЕВА, канд. физ.-мат. наук

СПЕКТРАЛЬНЫЙ ХОД КОНТРАСТА ТЕМНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ВЕНЕРЕ

Уже первый опыт фотографирования Венеры в ультрафиолетовой и ближней инфракрасной спектральных областях, проведенный в 1924 г. Райтом [1], и затем обширная серия фотографий в различных длинах волн, полученная независимо от Райта Россом в 1927 г. [2], установили следующую особенность видимой поверхности Венеры. Если в красных ($\lambda 6000 \text{ \AA}$) и инфракрасных ($\lambda 7700 \text{ \AA}$) лучах Венера выглядит однородной, то в ультрафиолетовых лучах ($\lambda 3650 \text{ \AA}$) обнаруживаются облачные образования в виде больших темных пятен или полос. Форма и расположение этих образований меняются день ото дня.

Очень слабые детали были обнаружены также на фотографиях в сине-фиолетовой и синей ($\lambda 4700 \text{ \AA}$) областях [2]. Фотометрические разрезы двух УФ-изображений Венеры, проведенные Россом [2] перпендикулярно к экватору интенсивности планеты, дали максимальное различие в интенсивности самых ярких и самых темных точек на разрезах в 16 и 24%. Аналогичные измерения в сине-фиолетовой области дали максимальное различие в 4%.

В дальнейшем фотографические наблюдения Венеры проводились неоднократно и приводили к аналогичным выводам об относительной степени видимости деталей в различных длинах волн.

Обширная серия фотографий, полученных Койпером и его сотрудниками [3, 4] в ультрафиолетовой, а также в более длин-