

✓ К-14038

✓ 17288305

ВЕСТНИК ХАРЬКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



№ 117
АСТРОНОМИЯ

ВЫПУСК 9



«ВИЩА ШКОЛА»

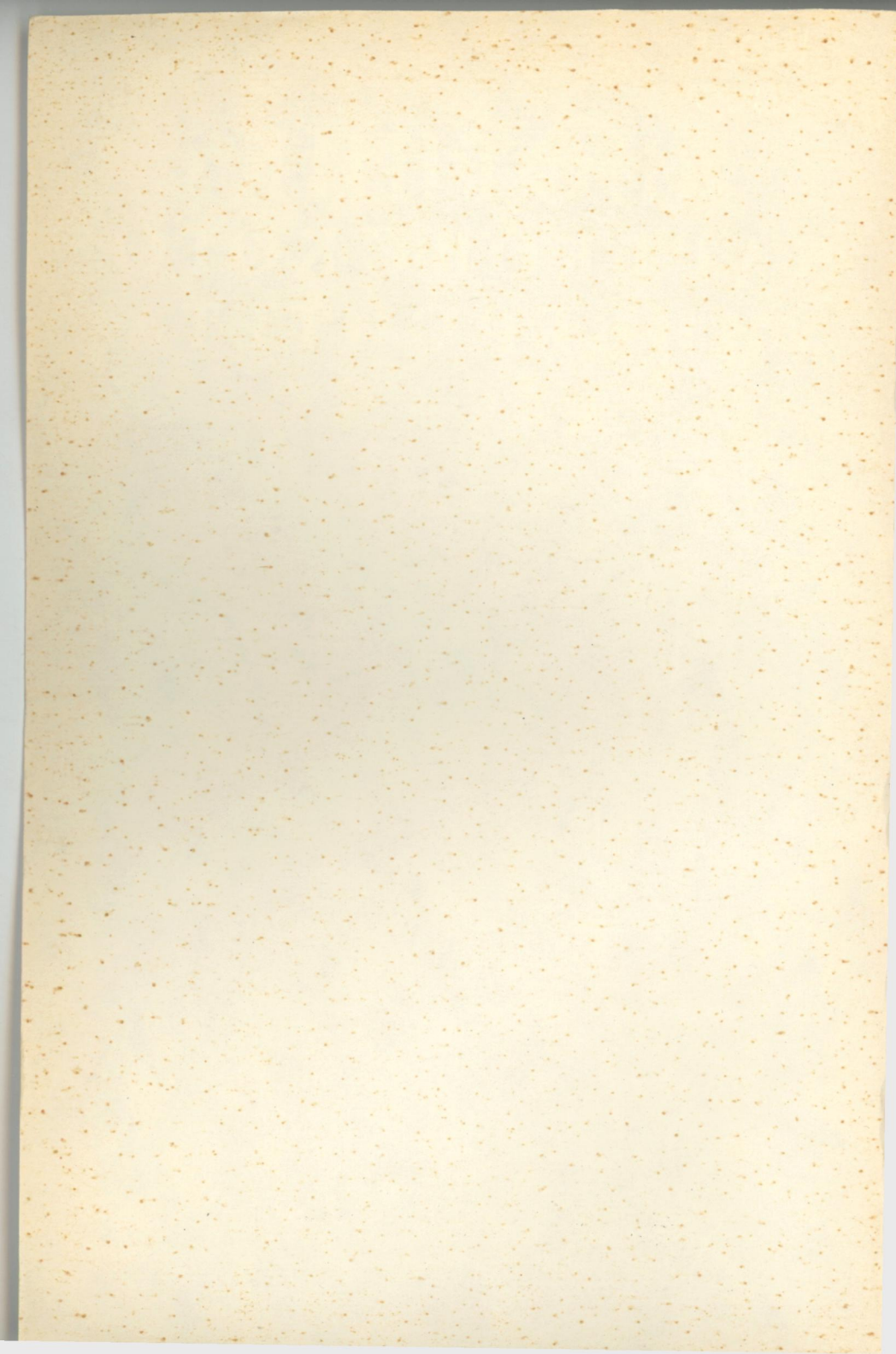
38 коп.

V.N. Karazin Kharkiv National University



00280882

2



МИНИСТЕРСТВО
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ВЕСТНИК
ХАРЬКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
№ 117
АСТРОНОМИЯ
ВЫПУСК 9

ИЗДАТЕЛЬСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ВИЩА ШКОЛА»
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
Харьков — 1974

В вестник помещены статьи по фундаментальной астрометрии, фотометрии и колориметрии Луны, Марса и Юпитера, а также статьи, освещающие применение метода пространственной фильтрации с помощью когерентной оптики для улучшения качества фотографических изображений планет.

Рассчитана на научных работников, аспирантов и студентов астрономической и смежных специальностей.

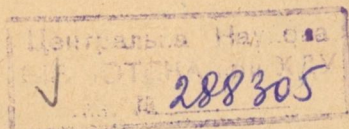
Редакционная коллегия:

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
Зав. редакцией *А. Г. Роскопыт*



Ю. В. АЛЕКСАНДРОВ, канд. физ.-мат. наук,
Д. Ф. ЛУПИШКО,
Т. А. ЛУПИШКО

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ МАРСА В 1971 ГОДУ

Определение величины абсолютной отражательной способности является одной из наиболее актуальных задач фотометрии планетных дисков. Знание этой характеристики важно не только для понимания физической природы отражающей свет субстанции, но и для проведения светотехнических расчетов, необходимых при решении прикладных задач космонавтики.

Для стандартизации фотографических наблюдений Марса в 1971 г. [1] была применена методика, основанная на сравнении абсолютного интеграла яркости Марса, полученного из фотоэлектрических наблюдений, и относительного интеграла яркости, полученного путем сканирования фотографического изображения. Такая методика требует одновременного проведения фотографических и фотоэлектрических наблюдений, однако осуществив такие комплексные наблюдения, получаем не только фазовую зависимость интегрального блеска Марса [2] и серию фотографических изображений его в отдельности, но и возможность довольно простой стандартизации фотографического наблюдательного материала.

Данный метод стандартизации осуществлялся следующим образом. Отобранные для обработки изображения Марса были профотометрированы на саморегистрирующем микрофотометре интенсивностей ГАО АН УССР [3] методом полного сканирования фотографического изображения. Размер окошка микрофотометра был выбран $1'' \times 1''$, при этом фотометрические разрезы изображения проводились без перекрытия. Таким образом, в пределах фотографического изображения Марса, масштаб которого равнялся $6'',65$ в миллиметре, укладывалось от 32 разрезов (вблизи противостояния) до 20 (в конце периода наблюдений). Величину $\sum_{i=1}^n I_i \Delta S$ назовем относительным интегралом яр-

кости, где I_i — относительная интенсивность i -й точки; n — число точек отсчета на изображении; ΔS — площадь, на которую приходится один отсчет. В данном случае величина ΔS равна 1 кв. сек.

Для сравнения с абсолютным значением интеграла использовалось абсолютное значение интегрального блеска Марса, полученное из фотоэлектрических наблюдений в ту же самую ночь, что и фотографическое изображение. Используя формулу (см., например, [4])

$$\lg [A_r \cdot f(\alpha)] = 0,4 [m_{\odot} - m_{\text{Марс}}(\alpha)] - 2 \lg \delta + 10,6289,$$

переходим от звездных величин к интегральному потоку (если положить освещенность от Солнца $E_{\odot} = \pi$)

$$\Phi = A_r \cdot f(\alpha) \pi r^2.$$

Здесь $[m_{\odot} - m_{\text{Марс}}(\alpha)]$ — разность звездных величин Солнца и Марса, вычисленная на основании данных [2, 5, 6];

δ — радиус диска Марса на расстоянии 1 а. е. в угловых секундах;

A_r — геометрическое альbedo Марса;

$f(\alpha)$ — фазовая функция;

r — радиус диска Марса в момент наблюдения, выраженный в секундах дуги.

Тогда коэффициент стандартизации, на который нужно умножать значения I_i , чтобы от них перейти к яркостному фактору P_i , запишется в виде

$$K = \frac{A_r \cdot f(\alpha) \pi r^2}{\sum_{i=1}^n I_i \Delta S}.$$

Необходимо отметить, что, во-первых, фотоэлектрические измерения блеска Марса осуществлялись с узкими интерференционными фильтрами с $\lambda_{\text{max}} = 366, 433, 536, 654 \text{ нм}$. Фотографические же наблюдения проводились с широкополосными стеклянными фильтрами УФС-3, СС-5, ЗС-1 и КС-11 на пластинки UV-1 и NP-22 фирмы ORWO. Поэтому были вычислены эффективные длины волн системы пластинка-фильтр, используя выражение

$$\lambda_{\text{эфф}} = \frac{\int_0^{\infty} \lambda A_{\text{гл}} E_{\odot \lambda} s_{\lambda} r_{\lambda} q_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} A_{\text{гл}} E_{\odot \lambda} s_{\lambda} r_{\lambda} q_{\lambda} d\lambda},$$

где $E_{\odot \lambda}$ — монохроматическая интенсивность солнечного излучения [6];

- S_λ — спектральная чувствительность пластинки;
 g_λ — кривая пропускания фильтра;
 q_λ — кривая среднего коэффициента прозрачности атмосферы для места наблюдения.

Затем величины $A_r \cdot f(\alpha)$ были проинтерполированы на найденные значения $\lambda_{эф} \cdot 366, 435, 548, 625 \text{ нм}$.

Во-вторых, промежуток времени между фотографическими и фотоэлектрическими наблюдениями в одинаковых фильтрах с учетом времени, необходимого для смены фотографической системы на фотоэлектрическую (или наоборот), в данном случае изменялся в пределах 1—2 часа. За это время Марс успевал повернуться вокруг своей оси на $15\text{—}30^\circ$ и вследствие долгого эффекта видимый блеск его при этом мог измениться. Поэтому для $\lambda = 625$ и $\lambda = 548 \text{ нм}$, где это изменение наиболее существенно, вводилась соответствующая поправка на основе оценок долгого эффекта, полученных в [7]. Величина ее, как правило, не превосходила $\pm 0^m, 0,4$. Для периода пылевой бури, когда полностью отсутствовали контрасты на диске, эта поправка не вводилась.

Для контроля точности абсолютной привязки одновременно с измерениями интегрального блеска Марса проводилась также фотоэлектрическая запись яркости его центральной зоны. Диафрагма фотометра вырезала участок видимого диска планеты диаметром $3'', 31$. Привязка осуществлялась к звездам ϵ Сар и ξ Сар, причем благодаря их малому угловому расстоянию от планеты непрерывные фотоэлектрические наблюдения всегда включали в себя момент, когда зенитные расстояния Марса и звезд сравнения были одинаковыми. Привязка их к фотометрическому стандарту α Aur осуществлялась в течение нескольких ночей также на одинаковых зенитных расстояниях.

Значения яркостного фактора центральной зоны Марса по фотоэлектрическим наблюдениям вычислялись по формуле

$$\rho = \frac{I_\pi}{I_*} \cdot \frac{I_*}{I_{\lambda \text{ Aur}}} \cdot \frac{E_{\lambda \text{ Aur}}}{E_\odot} \left(\frac{L}{R_\odot} \right)^2 \left(\frac{R_\odot}{r_\odot} \right)^2,$$

где I_π/I_* — наблюдаемое отношение интенсивностей центра диска Марса и звезды сравнения;

$I_*/I_{\alpha \text{ Aur}}$ — то же для звезды сравнения и α Aur;

$E_{\alpha \text{ Aur}}/E_\odot$ — отношение абсолютных спектральных интенсивностей излучения Капеллы и Солнца, взятое из [2];

L — гелиоцентрическое расстояние Марса;

R_\odot — радиус Солнца в линейных единицах;

R_\odot^* — угловой радиус Солнца на расстоянии 1 а. е.;

r_\odot^* — угловой радиус диафрагмы фотометра.

При сопоставлении полученных таким образом фотоэлектрических значений яркостного фактора ρ_2 центрального участка диска с аналогичными величинами, полученными после стандар-

тизации фотографических наблюдений ρ_1 (в дальнейшем для краткости будем называть их фотографическими), выяснилось, что последние систематически больше фотоэлектрических. Средняя за 17 дат величина систематических расхождений $\bar{\delta} = \rho_1/\rho_2$, а также среднеквадратичный разброс их $\sigma(\delta)$ приведены ниже:

λ , н.м.	366	435	548	625
$\bar{\delta}$	1,11	1,14	1,15	1,07
$\sigma(\delta)$	0,07	0,07	0,14	0,15

Наибольший разброс для $\lambda=548$ и $\lambda=625$ н.м. объясняется (по крайней мере частично) влиянием контрастов деталей диска, которые в этой области спектра могут иметь значения 20—40%, тем более что оба значения яркостного фактора для данной даты в результате неодновременности фотоэлектрических и фотографических наблюдений относятся к разным участкам поверхности Марса, хотя и близким друг к другу.

Проанализируем возможные причины систематических расхождений в значениях яркостных факторов. Прежде всего отметим, что фотографирование Марса всегда проводилось при постоянном визуальном контроле качества изображения и только в те моменты, когда атмосферное дрожание было минимальным. Из полученных таким путем в каждую наблюдательную ночь от 18 до 36 изображений Марса в каждом фильтре выбиралось для фотометрирования одно, лучшее по качеству. К тому же из всех 36 наблюдательных ночей сравниваются значения ρ для 17 ночей с лучшим качеством снимков. Имея это в виду и зная характерную величину атмосферного дрожания для места наблюдения (см. ниже), оцениваем качество отобранных снимков Марса значением параметра σ , равным $1'',0-1'',5$, где σ — среднеквадратичная амплитуда дрожания.

Необходимость в проведении фотоэлектрических измерений яркости центра диска на равных высотах со звездой сравнения исключала возможность выбирать моменты времени с минимальным атмосферным дрожанием. Поэтому для фотоэлектрических наблюдений мы принимаем среднюю (по нашим более чем 200 измерениям) величину σ , равную $2'',4$. Поскольку занижение яркости в центре диска в результате атмосферного замытия пропорционально σ^2 [8], то из всего сказанного следует, что примерно 3,5—4,5%, т. е. в среднем третья часть систематических различий объясняется именно разным занижением яркости в центре диска при фотографических и фотоэлектрических наблюдениях.

В среднем на занижение фотоэлектрической яркости должна также влиять систематическая ошибка наведения на центр диска, поскольку из-за отсутствия зеркальной диафрагмы непосредственно в момент записи контроля наведения на центр диска практически не было. Это подтверждается тем, что разброс ве-

личин δ обусловлен в основном (особенно для $\lambda = 548$ и $\lambda = 625$ нм) фотоэлектрическими данными. Для фотографических измерений яркости присущи ошибки самого метода фотографической фотометрии и особенно фотометрии краевой зоны изображения, связанной с необходимостью работы в нелинейном участке характеристической кривой. Именно фотометрия участка изображения, примыкающего к фону, может вносить систематическую ошибку в сторону занижения относительного фотографического интеграла, а следовательно, и в сторону завышения фотографических значений яркости.

В итоге оставшиеся примерно две трети систематических расхождений мы отнесли поровну к фотографическим и фотоэлектрическим измерениям и окончательно усреднили их с весами 2 : 1.

Результаты абсолютной привязки фотографических поверхностных измерений приведены в таблице, где приняты следующие обозначения:

α — угол фазы;

$\rho_{\text{ц}}$ — яркостный фактор центра диска;

ρ_{\odot} — то же для подсолнечной точки;

ρ_{max} — максимальное значение яркости на диске, не относящееся к полярным областям;

$\rho_{\text{ш}}$ — яркостный фактор южной полярной шапки;

Δ — величина искажения яркости в центре диска, обусловленная атмосферным замытием и выраженная в процентах по отношению к значению $\rho_{\text{ц}}$. Эта поправка рассчитана по формуле [8]

$$\Delta = \frac{\sigma^2}{2} \nabla^2 \rho \frac{100\%}{\rho_{\text{ц}}}.$$

Здесь $\nabla^2 \rho$ — лапласиан величины ρ в данной точке, как функции прямоугольных координат x, y в плоскости изображения планеты, вычисленный путем численного дифференцирования по методу наименьших квадратов [9]. Поскольку точное значение параметра σ для данного снимка неизвестно, оценки сделаны для $\sigma = 1''{,}5$, а для любого другого значения σ величина поправки Δ изменится в $(\sigma/1{,}5)^2$ раз.

Если для наблюдений в красном фильтре оценить величину $\bar{\delta}$ по датам с отрицательным и положительным значениями величины $\nabla^2 \rho$ отдельно, то окажется, что $\bar{\delta}_- = 1{,}13$, а $\bar{\delta}_+ = 1{,}02$ (в зеленом фильтре изменения те же по знаку, но незначительны по величине). Это может служить подтверждением сказанного выше о роли различного в среднем атмосферного замытия для фотоэлектрических и фотографических наблюдений.

Величина $\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$ характеризует точность приведенных в таблице значений яркостного фактора:

λ , нм	366	435	548	625
σ , %	9	8	9	9

Дата	α°	366 нм						435 нм					
		$A_{rf}(\alpha)$	ρ_{Π}	ρ_{\odot}	ρ_{\max}	$\rho_{\text{ш}}$	$\Delta, \%$	$A_{rf}(\alpha)$	ρ_{Π}	ρ_{\odot}	ρ_{\max}	$\rho_{\text{ш}}$	$\Delta, \%$
18/19 июня	19°0	0,039	0,038	0,042	0,044	0,045	0,1	0,065	0,061	0,064	0,068	0,069	0,0
22/23 „	16,2	0,042	0,040	0,044	0,045	0,047	0,1	0,065	0,062	0,064	0,067	0,065	—0,3
31/32 „	9,6	0,046	0,040	0,040	0,041	0,053	—0,5	0,070	0,066	0,067	0,071	0,084	—0,3
4/5 августа	6,8	0,047	0,041	0,042	0,042	0,057	—1,0	0,075	0,067	0,067	0,070	0,086	—0,1
7/8 „	5,4	0,051	0,042	0,042	0,047	0,067	0,0	—	—	—	—	—	—
10/11 „	5,1	0,053	0,047	0,048	0,052	0,057	0,0	0,080	0,073	0,073	0,073	0,109	—0,6
11/12 „	5,2	0,054	0,046	0,047	0,049	0,059	—0,3	0,084	0,075	0,076	0,077	0,091	—0,3
14/15 „	6,4	0,052	0,046	0,046	0,049	0,062	—0,1	0,080	0,075	0,076	0,077	0,088	—0,4
17/18 „	8,4	0,052	0,045	0,045	0,046	0,056	—0,7	0,076	0,067	0,067	0,070	0,076	0,3
26/27 „	15,1	0,045	0,039	0,040	0,042	0,047	—0,9	0,065	0,061	0,062	0,068	0,068	—0,2
6/7 сентября	22,7	0,042	0,037	0,037	0,037	0,052	—1,1	0,063	0,058	0,059	0,061	0,075	—0,3
16/17 „	28,6	0,039	0,033	0,039	0,039	0,040	—0,7	0,056	0,053	0,059	0,061	0,060	—0,1
26/27 „	33,3	0,031	0,031	0,038	0,039	—	—0,7	0,051	0,051	0,061	0,069	—	—0,6
3/4 октября	35,8	0,027	0,027	0,035	0,035	—	—1,4	0,051	0,063	0,075	0,076	—	—2,9
6/7 „	36,8	0,029	0,027	0,035	0,036	—	—0,5	0,055	0,061	0,069	0,072	—	—2,6
12/13 „	38,5	—	—	—	—	—	—	0,053	0,055	0,072	0,072	—	—1,2
14/15 „	39,0	0,027	0,028	0,038	0,039	—	—1,5	0,050	0,056	0,071	0,071	—	—0,1

Дата	α	548 нм						625 нм					
		$A_{\Gamma f}(\alpha)$	ρ_{Π}	ρ_{\odot}	ρ_{\max}	ρ_{Π}	$\Delta, \%$	$A_{\Gamma f}(\alpha)$	ρ_{Π}	ρ_{\odot}	ρ_{\max}	ρ_{Π}	$\Delta, \%$
18/19 июля	19,0	0,127	0,126	0,129	0,156	0,133	1,0	0,190	0,208	0,213	0,268	0,209	1,7
22/23 „	16,2	0,130	0,142	0,140	0,155	0,123	—1,0	0,205	0,233	0,228	0,288	0,216	0,4
31/32 „	9,6	0,130	0,134	0,143	0,160	0,144	—0,1	0,204	0,238	0,261	0,313	0,243	1,0
4/5 августа	6,8	0,139	0,130	0,136	0,151	0,143	0,3	0,202	0,207	0,207	0,273	0,229	2,0
7/8 „	5,4	—	—	—	—	—	—	0,197	0,213	0,208	0,251	0,244	—0,2
10/11 „	5,1	0,140	0,142	0,143	0,154	0,148	—0,1	0,205	0,234	0,235	0,276	0,247	—0,8
11/12 „	5,2	0,146	0,150	0,144	0,176	0,169	—0,1	0,212	0,222	0,209	0,275	0,226	1,2
14/15 „	6,4	0,141	0,135	0,133	0,164	0,137	2,1	0,202	0,204	0,222	0,282	0,229	3,0
17/18 „	8,4	0,132	0,125	0,130	0,152	0,128	1,2	0,189	0,186	0,189	0,238	0,199	1,7
26/27 „	15,1	0,114	0,128	0,125	0,151	0,095	0,0	0,172	0,222	0,205	0,257	0,169	—1,6
6/7 сентября	22,7	0,108	0,102	0,110	0,121	0,132	1,9	0,165	0,188	0,179	0,215	0,199	1,0
16/17 „	28,6	0,103	0,106	0,116	0,146	0,131	0,9	0,154	0,164	0,189	0,216	0,168	2,4
26/27 „	33,3	0,102	0,108	0,121	0,148	—	—0,8	0,153	0,149	0,182	0,277	—	—3,8
3/4 октября	35,8	0,115	0,138	0,167	0,173	—	—2,0	0,184	0,246	0,284	0,296	—	—3,2
6/7 „	36,8	0,121	0,154	0,165	0,170	—	—2,7	0,196	0,263	0,262	0,292	—	—4,7
12/13 „	38,5	—	—	—	—	—	—	0,208	0,262	0,323	0,327	—	—2,6
6 14/15 „	39,0	0,116	0,136	0,178	0,181	—	—1,8	0,216	0,260	0,338	0,341	—	—2,8

Здесь σ_1 — среднеквадратичная ошибка используемых величин $[m_{\odot} - m\beta(\alpha)]$ [2], а

$$\sigma_2^2 = \frac{2 \sum_{i=1}^n (\rho_{1i} - \bar{\rho}_1)^2 + \sum_{i=1}^n (\rho_{2i} - \bar{\rho}_2)^2}{3(n-1) \cdot \rho_{cp}},$$

где $\rho_{1i}, \rho_{2i}, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_2$ — соответственно фотографическое, фотоэлектрическое и средневзвешенные значения яркостного фактора для данной даты;

n — число наблюдений.

Следует иметь в виду, что яркостные факторы центра диска относятся в основном к морским участкам поверхности Марса, так как в центре видимого диска Марса в 1971 г. находилась полоса южных морей (ареоцентрическое склонение Земли было -14 — -18°).

Эксперимент по стандартизации фотографических наблюдений с помощью данных интегральной фотометрии применительно к Юпитеру описан в [10]. При этом относительный интеграл яркости находился с помощью системы изофот, полученных методом эквиденситометрии. Мы считаем весьма существенным одновременное применение обоих методов (по интегральному блеску и по яркости центра диска), что позволяет оценить точность выполняемой стандартизации, хотя и может быть связано с некоторыми трудностями поверхностной и интегральной фотометрии с помощью одного и того же фотометра и увеличивает время, необходимое для наблюдения в каждом фильтре.

Преимуществом рассматриваемой методики стандартизации является то, что отпадает необходимость в определении коэффициента прозрачности земной атмосферы (так как практически всегда можно подобрать звезды сравнения на равных зенитных расстояниях), и стандартизация осуществляется независимо для каждой ночи наблюдений. Заметим также, что получение относительного интеграла яркости путем сканирования фотографического изображения предпочтительнее метода эквиденситометрии по точности и требует меньших затрат труда, особенно если учесть возможность автоматизации процесса сканирования с помощью интегрирующих схем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабашов Н. П., Киселев Н. Н., Лупишко Д. Ф. Наблюдения Марса в 1971 г. — «Астроном. циркуляр», 1972, № 687, с. 3—5.
2. Александров Ю. В., Лупишко Д. Ф., Лупишко Т. А. Фазовая зависимость блеска Марса в противостоянии 1971 г. — «Вестник Харьк. ун-та», 1973, № 99. Астрономия, вып. 8, с. 3—9.
3. Бугаенко Л. А., Бугаенко А. И. Новый вариант микрофотометра интенсивностей. — Сб. «Физика Луны и планет», Киев, 1966, с. 91—94.
4. Шаронов В. В. Природа планет. М., Физматгиз, 1958. 552 с.

5. Спектрофотометрические стандарты для наблюдений планет и комет и некоторые вопросы звездной спектрофотометрии. — «Тр. астрофиз. ин-та АН Каз. ССР», 1972, т. XXII, с. 3—62. Авт.: А. В. Харитонов, Е. А. Глушкова, Л. Н. Князева и др.
6. Макарова Е. А., Харитонов А. В. Средние данные об абсолютном распределении энергии в спектре Солнца в области от 1800 \AA до 4 мкм . Солнечная постоянная. — «Астроном. журнал», 1968, т. 45, вып. 4, с. 752—764.
7. О фазовой зависимости интегрального блеска Марса. — «Астроном. журнал», 1971, т. XLVIII, № 3, с. 581—586. Авт.: Н. П. Барабашов, Ю. В. Александров, Т. А. Лупишко и др.
8. Дудинов В. Н. О возможности учета погрешностей, вызванных замытием изображения планет. — «Астроном. журнал», 1969, т. XLVI, с. 1064—1073.
9. Ланцош К. Практические методы прикладного анализа. М., Физматгиз, 1961, 324 с.
10. Карташов В. Ф., Тейфель В. Г., Усольцева Л. А. Опыт фотографической эквиденситометрии Юпитера. — «Тр. астрофиз. ин-та АН Каз. ССР», 1969, т. XIII, с. 31—38.

УДК 523.43

Ю. В. АЛЕКСАНДРОВ, канд. физ.-мат. наук,
Д. Ф. ЛУПИШКО,
В. П. ТИШКОВЕЦ

РЕЗУЛЬТАТЫ АБСОЛЮТНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ФОТОМЕТРИИ МАРСА В 1971 г.

Как уже сообщалось [1], в противостояние 1971 г. на телескопе АЗТ-8 Института астрофизики АН Тадж. ССР проведена серия фотографических наблюдений Марса в фокусе 31 м. Стеклённые светофильтры УФС-3, СС-5, ЗС-1, КС-11 в совокупности с фотопластинками UV-1 и NP-22 фирмы ORWO вырезали участки спектра с $\lambda_{\text{эфф}} = 366, 435, 548 \text{ и } 625 \text{ нм}$. За весь период наблюдений с 15 июня по 15 октября получено свыше 2500 изображений Марса в указанных спектральных интервалах. Настоящая работа посвящена описанию методики и результатам фотометрической обработки полученных изображений. Результаты представлены в виде систем изофот, характеризующих распределение яркости на диске Марса.

Для этой цели были отобраны 64 изображения Марса (17 дат), лучших по качеству и достаточно равномерно распределённых по углу фазы. Фотометрические измерения осуществлялись на саморегистрирующем микрофотометре интенсивностей ГАО АН УССР [2]. Размер окошка микрофотометра был выбран равным $1'' \times 1''$, исходя из оценок величины разрешения отобранных снимков [3]. Измерениям подвергалось все изображение Марса с примыкающим фоном. При этом разрезы проводились без перекрытия и ориентировались параллельно экватору интенсивности планеты. Значения интенсивностей, снятые с разрезов каждого изображения через интервалы, соответствующие

щие 1", переносились в определенном масштабе на миллиметровую бумагу. Полученные таким образом матрицы интенсивностей использовались для построения систем изофот.

По краевым изофотам, проведенным на этих матрицах, определялось положение центра, вокруг которого описывался контур эфемеридного диска. Интервал по яркости (шаг), через который проводились изофоты, как правило, оставался постоянным для данного изображения, но иногда для подчеркивания деталей строилась одна или несколько промежуточных изофот. Стандартизация их описана в предыдущей работе [3]. В Приложении помещены полученные распределения яркости по диску Марса в виде систем изофот только для $\lambda_{эфф} = 625 \text{ нм}$. Для каждого изображения указаны: дата, значение $\lambda_{эфф}$, долгота центрального меридиана L , угол фазы α , а также отмечены направления экватора интенсивности и центрального меридиана, по которым сориентированы изображения, положения подсолнечной точки (\odot) и точки пересечения ареографического экватора с направлением север—юг на изображении (\times). Цифры на изображении указывают значение яркостного фактора, соответствующего данной изофоте.

Значения углов падения i и отражения ε в любой точке на изображении можно определить по формулам

$$\cos \varepsilon = \cos \psi \cos \omega = \frac{1}{R} \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}; \quad (1)$$

$$\cos i = \cos \psi \cos (\alpha + \omega) = \frac{1}{R} (\cos \alpha \sqrt{R^2 - x^2 - y^2} + x \sin \alpha),$$

где ψ , ω — ареоцентрические координаты точки, отсчитанные от экватора интенсивности и центрального меридиана, определяемые с помощью нормальной ортографической сетки, причем $\omega > 0$ к терминатору и $\omega < 0$ к лимбу от центра диска;

x , y — прямоугольные координаты точки на изображении; ось x направлена по экватору интенсивности в сторону лимба, ось y — по центральному меридиану;

R — радиус изображения.

Переход от координат x , y к ареографическим координатам φ , λ удобно осуществлять с помощью косо́й ортографической сетки (построение ее см., например, в [4]) или же с помощью следующих формул:

$$\sin \varphi = \sin \psi' \cos D_{\oplus} + \cos \psi' \sin D_{\oplus} \sin \omega';$$

$$\cos \varphi \cos \lambda_0 = \cos \psi' \cos \omega';$$

$$\cos \varphi \sin \lambda_0 = \sin D_{\oplus} \sin \psi' - \cos D_{\oplus} \cos \psi' \sin \omega';$$

$$\lambda = L + \lambda_0; \quad (2)$$

$$\sin \psi' = -x \cos(P - Q) + y \sin(P - Q);$$

$$\sin \omega' = \frac{x \sin(P - Q) + y \cos(P - Q)}{\sqrt{1 - [y \sin(P - Q) - x \cos(P - Q)]^2}},$$

где D_{\oplus} — ареоцентрическое склонение Земли;

λ_0 — ареографическая долгота точки, отсчитанная от центрального меридиана;

P — угол положения оси вращения Марса на геоцентрической небесной сфере;

Q — угол положения точки наименьшей освещенности диска.

Значения величин ψ' , ω' можно также определить с помощью нормальной ортографической сетки, если совместить ее центральный меридиан с направлением $N-S$ на изображении.

Точность полученных изофот определяется следующим:

- 1) ошибкой их абсолютной привязки;
- 2) погрешностями относительной фотометрии изображения;
- 3) искажениями распределения яркости вследствие замытия земной атмосферой;
- 4) точностью построения изофот.

Ошибки, указанные в п. 1 и 2, не влияют на форму изофот, меняется лишь значение яркостного фактора, соответствующего данной изофоте. Если известна погрешность яркостного фактора $\Delta\rho$, то влияние ее можно учесть, приписав изофоте с уровнем ρ уровень $\rho + \Delta\rho$, а при решении обратной задачи (отыскание на изображении изофоты нужного уровня) следует перейти к изофоте уровня $\rho - \Delta\rho$. При этом, в случае п. 1, относительная погрешность $\delta\rho = \Delta\rho/\rho$ не зависит от ρ . Возможное значение величины $\Delta\rho$ стандартизации оценивается в [3]. Величину $\Delta\rho$ относительной фотометрии можно считать не превосходящей 3—5%.

Как известно (например, [5]), искажение распределения яркости по диску планеты в первом приближении можно описать следующим образом:

$$\Delta\rho = \frac{\sigma^2}{2} \cdot \nabla^2 \rho,$$

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} r^2 g(r) dr;$$
(3)

$g(r)$ — аппаратная функция системы «земная атмосфера + телескоп + фотопластинка + микрофотометр». Определяющий вклад в величину σ вносит турбулентное состояние атмосферы. Значения σ в нашем случае лежат в пределах 1"—1", 5 [3]. Тогда в линейном приближении для смещения точки на изофоте в направлении нормали будем иметь

$$\Delta n = \frac{\sigma^2}{2} \left(\frac{1}{\Delta n_2} - \frac{1}{\Delta n_1} \right),$$
(4)

где Δn_1 , Δn_2 — расстояния до соседних изофот. Пример учета влияния земной атмосферы с помощью (4) при $\sigma=1''$ показан на изображении за 31/32 июля $\lambda=625$ нм, где пунктиром дана исправленная изофота с уровнем $\rho=0,261$. В этом же приближении величина искажения яркостного фактора при фиксированном положении изофоты следующая:

$$\Delta\rho = \frac{\sigma^2 h}{\Delta n_1 \cdot \Delta n_2} \cdot \frac{\Delta n_2 - \Delta n_1}{\Delta n_2 + \Delta n_1}. \quad (5)$$

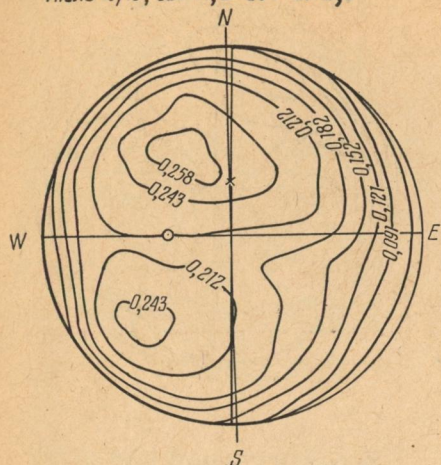
Здесь h — шаг по ρ , с которым строились изофоты. Можно также поставить задачу приведения систем изофот, полученных в разные даты с разным разрешением, к одному «стандартному» разрешению, определяемому некоторой величиной σ_0^2 . Для этого нужно воспользоваться формулами (4) и (5), но вместо фактического значения величины σ^2 подставлять в них величину $\sigma^2 - \sigma_0^2$.

При построении изофот проводилось линейное интерполирование между точками отсчета. Достаточность его обусловлена тем, что существенные нелинейности между узлами интерполяции уже сглажены, так как расстояние между ними ($1''$) сравнимо с величиной σ [3]. Все изложенное позволяет оценить в тех или иных конкретных случаях точность построения изофот в центральной области диска. В краевой же зоне ошибки больше за счет причин, указанных в п. 2 и особенно в п. 3, и оценка их затруднительна.

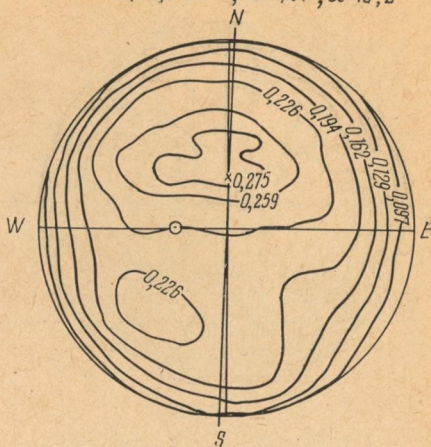
Сопоставление полученных изофот с картой поверхности Марса показывает, что фотометрические особенности диска, выявляемые на изофотах, можно отождествить с деталями марсианской поверхности. На изофотах в красной области спектра отчетливо выделяются морские и материковые области, а иногда и полярная шапка (см. изофоты за 7—11 августа). На изображениях в синем и особенно в ультрафиолетовом участках спектра, за исключением периода пылевой бури, выделяются: южная полярная шапка, как наиболее яркая деталь на диске, облачные образования у краев диска, иногда повышение яркости вблизи северного полюса. Количественные фотометрические характеристики этих образований легко могут быть оценены по изофотам.

Подробнее остановимся на распределении яркости по диску Марса в период пылевой бури (см. изображения за 14/15 октября). Наряду с отсутствием контрастов на диске характерными особенностями этих распределений можно считать также довольно слабое изменение распределения яркости с длиной волны, а также то, что максимум яркости на диске находится вблизи подсолнечной точки. Пылевая буря привела к сильному возрастанию яркости в подсолнечной точке диска в красной области спектра (почти в 2 раза по сравнению, например, с 6/7 сентября). Особенно наглядно это видно из таблицы [3]. Яркостный фактор

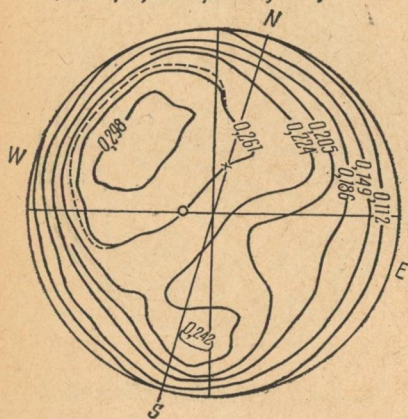
Июль 18/19, 625 нм, $L=204^{\circ}$, $\alpha=19^{\circ}0$



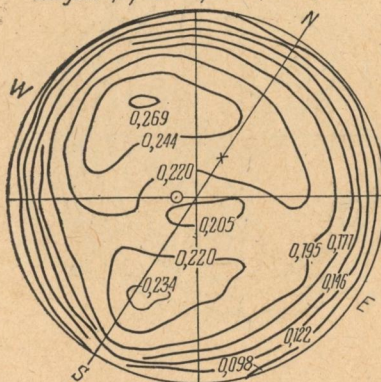
Июль 22/23, 625 нм, $L=781^{\circ}$, $\alpha=16^{\circ}2$



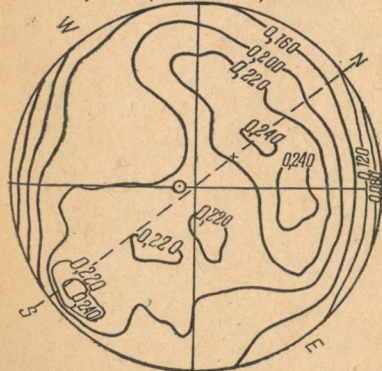
Июль 31/32, 625 нм, $L=47^{\circ}$, $\alpha=9^{\circ}6$



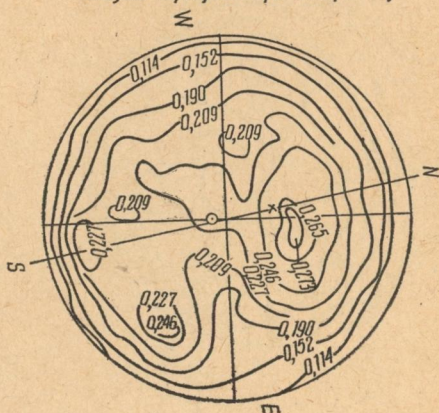
Август 4/5, 625 нм, $L=36^{\circ}$, $\alpha=6^{\circ}8$



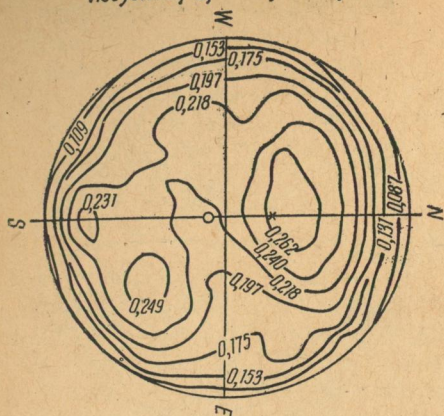
Август 7/8, 625 нм, $L=5^{\circ}$, $\alpha=5^{\circ}4$



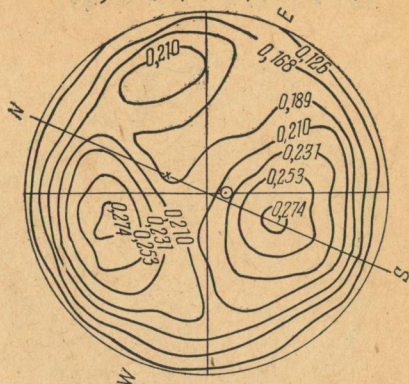
Август 10/11, 625 нм, $L=336^{\circ}$, $\alpha=5^{\circ}1$



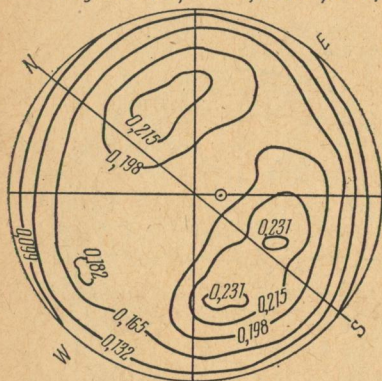
Август 11/12, 625 нм, $L=322^\circ$, $\alpha=5^\circ, 2$



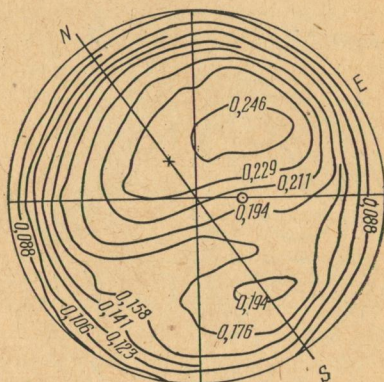
Август 14/15, 625 нм, $L=296^\circ$, $\alpha=6^\circ, 4$



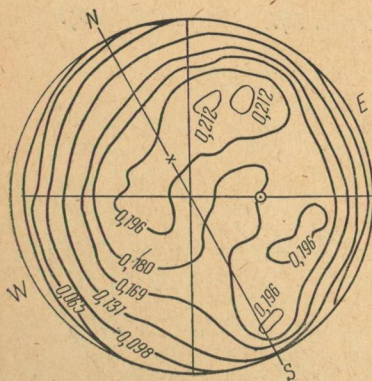
Август 17/18, 625 нм, $L=268^\circ$, $\alpha=8^\circ, 4$



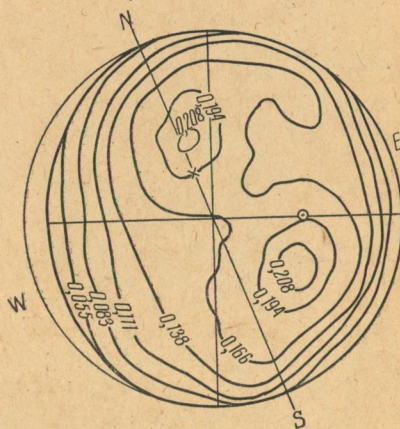
Август 26/27, 625 нм, $L=210^\circ$, $\alpha=15^\circ, 7$



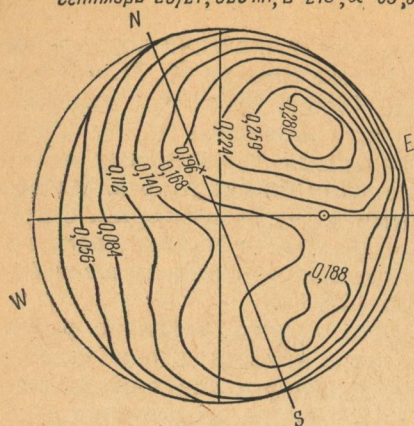
Сентябрь 6/7, 625 нм, $L=57^\circ$, $\alpha=22^\circ, 7$



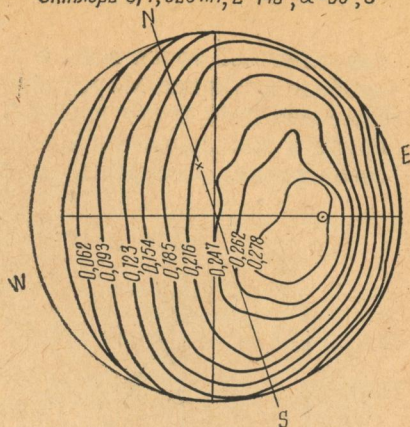
Сентябрь 16/17, 625 нм, $L=318^\circ$, $\alpha=28^\circ, 6$



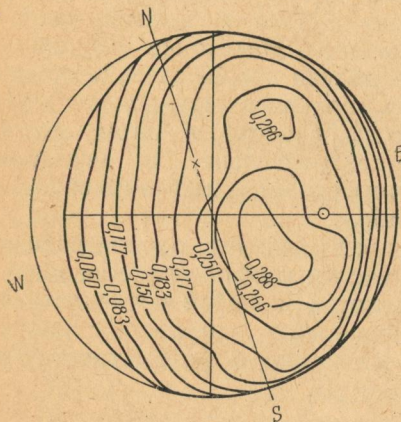
Сентябрь 26/27, 625 нм, $L=218^\circ$, $\alpha=33^\circ,3$



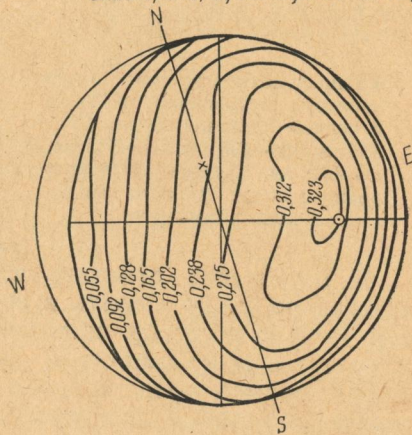
Октябрь 3/4, 625 нм, $L=146^\circ$, $\alpha=35^\circ,8$



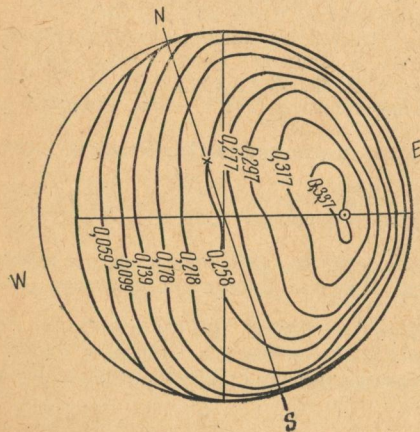
Октябрь 6/7, 625 нм, $L=99^\circ$, $\alpha=36^\circ,8$



Октябрь 12/13, 625 нм, $L=57^\circ$, $\alpha=38^\circ,5$



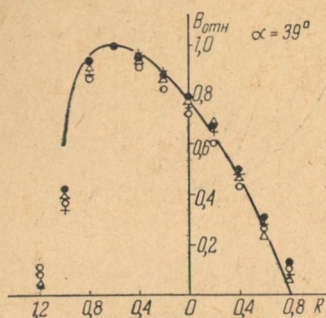
Октябрь 14/15, 625 нм, $L=14^\circ$, $\alpha=39^\circ,0$



подсолнечной точки в период бури достиг значений нормального альbedo материка Марса в этом участке спектра [6, 7], что было отмечено и во время пылевой бури 1956 г. [8]. Такое изменение яркости в подсолнечной точке диска, вызванное бурей, хорошо согласуется, во-первых, с аномальными изменениями в инте-

гральном блеске Марса, отмеченными в [9], а во-вторых, с предположением о материковом происхождении частиц пылевой бури [10—12, 1].

На рисунке показано распределение яркости вдоль экватора интенсивности для этой же даты 14/15 октября в сравнении с распределением для ортотропной поверхности. Экспериментальные точки на графике ложатся достаточно близко к кривой закона Ламберта. Некоторое расхождение вблизи лимба следует объяснить большим изменением градиента яркости в этом месте, а следовательно, и большим атмосферным замытием в области лимба.



Распределение яркости вдоль экватора интенсивности Марса в период пылевой бури: \circ — 366 нм, \bullet — 435 нм, $+$ — 548 нм, \triangle — 625 нм. Сплошная линия — распределение яркости по закону Ламберта.

В заключение отметим, что представление распределения яркости по диску планеты в виде систем изофот является удобной (можно получить значение яркости в любой точке диска) и вместе с тем компактной (по сравнению, например, с таблицами) формой представления информации о фотометрических свойствах видимой поверхности планеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабашов Н. П., Киселев Н. Н., Луишко Д. Ф. Наблюдения Марса в 1971 г. — «Астроном. циркуляр», 1972, № 687, с. 3—5.
2. Бугаенко Л. А., Бугаенко А. И. Новый вариант микрофотометра интенсивностей. — Сб. «Физика Луны и планет», Киев, 1966, с. 91—94.
3. Александров Ю. В., Луишко Д. Ф., Луишко Т. А. Стандартизация фотографических наблюдений Марса в 1971 г. — См. статью в настоящем вестнике.
4. Каврайский В. В. Математическая картография. М., Редбаза госкартогостреста, 1934. 276 с.
5. Дудинов В. Н. О возможности учета погрешностей, вызванных замытием изображения планеты. — «Астроном. журнал», 1969, т. XLVI, с. 1064—1073.
6. Александров Ю. В., Луишко Д. Ф. О функции распределения нормального альbedo поверхности Марса. — «Астроном. вестник», 1972, т. VI, вып. 1, с. 9—12.
7. Барабашов Н. П., Александров Ю. В., Гаража В. И. Еще о законе отражения света от твердой поверхности Марса. — «Вестник Харьк. ун-та», 1967, № 28, Астрономия, вып. 3, с. 12—20.

8. Барабашов Н. П., Коваль И. К. Фотографическая фотометрия Марса со светофильтрами. — Сб. «Результаты наблюдений Марса во время великого противостояния 1956 г. в СССР», М., Изд. АН СССР, 1959, с. 106—112.
9. Александров Ю. В., Лупишко Д. Ф., Лупишко Т. А. Фазовая зависимость блеска Марса в противостоянии 1971 г. — «Вестник Харьк. ун-та», 1973, № 99. Астрономия, вып. 8, с. 3—9.
10. Сытинская Н. Н. Некоторые соображения о состоянии атмосферы Марса. — Сб. «Результаты наблюдений Марса во время великого противостояния 1956 г. в СССР», М., Изд. АН СССР, 1959, с. 166—170.
11. Телевизионные наблюдения облачных образований на Марсе в период с 6 сентября по 16 ноября 1971 г. — «Астроном. циркуляр», 1972, № 673, с. 1—2. Авт.: А. Н. Абраменко, М. Н. Наугольная, В. В. Прокофьева и др.
12. Мороженко А. В. Некоторые свойства атмосферы Марса во время пылевых бурь. — «Астроном. циркуляр», 1972, № 683, с. 1—3.

УДК 535.81

В. Н. ДУДИНОВ, канд. физ.-мат. наук,
В. С. ЦВЕТКОВА, канд. физ.-мат. наук,
В. А. КРИСТАЛЬ,
Н. А. ХОВАНСКИЙ

ОБРАБОТКА АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДАМИ КОГЕРЕНТНОЙ ОПТИКИ

Во многих областях науки все чаще приходится сталкиваться с необходимостью обработки изображения различных объектов с целью извлечь максимально возможную информацию об этих объектах. В обработке, предшествующей анализу, нуждаются рентгенограммы, интерферограммы, радиоизображения, изображения, полученные с помощью микроскопа, космические и астрономические изображения.

В последнее время наибольшее развитие получили цифровые методы обработки изображений с привлечением самых мощных ЭЦВМ [4, 5, 11, 13]. Менее широко применяются оптические методы обработки, использующие когерентное и некогерентное освещение [9, 11, 12]. В настоящей работе приведены результаты обработки нескольких типов изображений методами когерентной оптики.

Особое внимание уделено обработке астрономических изображений, которые обычно обладают низким разрешением из-за рассеяния света на турбулентных неоднородностях земной атмосферы или (как в случае изображений, полученных космическими аппаратами) сильно испорчены различными помехами при передаче.

В целом проблема обработки оптических изображений является частным случаем математической обработки экспериментальных данных. Математические обоснования возможности и корректности апостериорной обработки результатов физического эксперимента стали сейчас, с одной стороны, уже класси-

ческими и связаны с именами Колмогорова, Винера и Шеннона, а с другой стороны — непрерывно развиваются и получают все большее практическое применение [3—8, 12, 13]. Аналогично обстоит дело и с технической реализацией апостериорной обработки изображений методами когерентной оптики: с одной стороны — первые эксперименты Кроса [9] в 1956 г., с другой — большое число текущих исследований, в которых зачастую предлагаются оригинальные технические решения [14—17].

В самом общем виде задача обработки протяженного источника может быть сформулирована следующим образом. Имеется изображение предмета $F(\vec{r})$, где \vec{r} — радиус-вектор, отсчитанный в плоскости изображения, которое искажено конечным разрешением аппаратуры и содержит случайные отклонения яркости $N(\vec{r})$ (шум). Ставится задача, как и всегда при корректной математической обработке экспериментальных данных, сделать на основе эксперимента $F(\vec{r})$ статистический вывод о принятой математической модели истинной яркости $f(\vec{r})$ в условиях неполной информации относительно характеристик этой модели.

Алгоритм математической обработки изображения может быть получен обычными методами, разработанными в теории статистических решений. При этом предполагаются известными не только характеристика аппаратуры, например, разрешающая сила телескопа и характеристическая кривая фотопластинки в случае астрономического изображения, но и статистика помех и характер их влияния на изображение, а также априорные статистические свойства ансамбля возможных изображений.

Используя априорную информацию, можно, согласно формуле Байеса, на основе данных, полученных из эксперимента, найти апостериорную плотность вероятности возможных изображений. Выбор же из этих изображений одного, т. е. принятие решения, должен быть осуществлен на основе заранее выбранного критерия качества (верности) воспроизведения изображения, который может быть произвольным.

Таким образом, полученное в результате математической обработки изображение зависит от примененного алгоритма, который определяется априорной информацией, находящейся в распоряжении экспериментатора, и выбранным критерием качества воспроизведения изображения.

При обработке оптических данных выбор критерия качества, задание функции сходства изображений, учитывающей свойства наблюдателя и поставленную перед ним задачу, является сложной проблемой, которую необходимо заново решать в каждом конкретном случае. Такой критерий должен выбираться в конечном счете на основе свойств восприятия человеком данного вида сообщения. Гораздо проще обстоит дело только тогда,

когда элементы человеческого восприятия могут в расчет не приниматься. Например, когда используются только результаты фотометрических измерений, критерий верности очевиден, это — минимум среднеквадратичного отклонения или величины максимального отклонения между истинным и обработанным изображением. Во всех других случаях можно надеяться лишь на то, что любая разумная оценка истинной яркости, удовлетворяющая эксперименту, лежит вблизи того изображения, которое максимизирует апостериорную плотность вероятности.

Математической трудностью при использовании формулы Бейеса является также невозможность выразить априорные сведения в виде априорной плотности вероятности. В работах [6—8] подробно обсуждается этот вопрос и дается определенное правило установления априорного распределения на основе принципа максимума энтропии, а именно, априорное распределение вероятности должно быть распределением с максимальной энтропией, согласующимся с априорными сведениями. Например, если известно только, что функция $f(\vec{r})$, описывающая распределение яркости по кадру, положительно определенная со средним значением A , то плотность вероятности данного значения f , удовлетворяющая максимуму энтропии [1], есть:

$$p(f) = \frac{1}{A} e^{f/A} \quad \text{при } f \geq 0.$$

Одним из наиболее важных является случай построения изображения оптическим прибором (например, телескопом), когда связь между истинным $f(\vec{r})$ и измеренным $F(\vec{r})$ изображением описывается линейным уравнением

$$F(\vec{r}) = \int f(\vec{r}') g(\vec{r} - \vec{r}') d\vec{r}' + N(\vec{r}), \quad (1)$$

где $N(\vec{r})$ — погрешность измерения яркости в точке с радиус-вектором \vec{r} ($N(\vec{r})$ — шум);

$g(\vec{r})$ — распределение яркости по изображению точки, которое в отсутствие искажений является дельта-функцией. Задача состоит в том, чтобы, считая $f(\vec{r})$ и $N(\vec{r})$ случайными функциями, найти такое изображение, которое обладает наибольшей апостериорной вероятностью при условии, что измеренная яркость есть $F(\vec{r})$.

В простейшем случае, когда $f(\vec{r})$ и $N(\vec{r})$ являются реализациями двух независимых стационарных гауссовых процессов, а $g(\vec{r})$ — задана, решение имеет вид

$$f(\vec{r}) = \int F(\vec{r}') D(\vec{r} - \vec{r}') d\vec{r}'. \quad (2)$$

Здесь

$$D(\vec{r}) = \frac{1}{2\pi} \int \tilde{D}(\vec{k}) e^{i\vec{k}\vec{r}} d\vec{k}, \quad \tilde{D}(\vec{k}) = \frac{\tilde{g}^*(\vec{k})}{\tilde{g}(\vec{k})\tilde{g}^*(\vec{k}) + \frac{\gamma^2(\vec{k})}{s^2(\vec{k})}},$$

где $\gamma^2(\vec{k})$ — спектральная плотность шума; $s^2(\vec{k})$ — спектральная плотность сигнала. При этом $f(\vec{r})$, являясь наиболее вероятным изображением, имеет минимальное среднеквадратичное отклонение от истинной яркости.

Таким образом, задача математической обработки сводится к построению линейного фильтра пространственных частот $\tilde{D}(\vec{k})$.

Уравнение (2) справедливо и в случае, когда $g(\vec{r})$ флуктуирует вблизи своего среднего значения, причем для случая, когда шумом $\gamma^2(\vec{k})$ можно пренебречь, $\tilde{D}(\vec{k})$ не зависит от спектральной плотности сигнала:

$$\tilde{D}(\vec{k}) = \frac{\overline{\tilde{g}^*(\vec{k})}}{|g(\vec{k})|^2}.$$

Когда разрешение удовлетворительное, т. е. когда можно считать $g(\vec{r}) = \delta(\vec{r})$,

$$\tilde{D}(\vec{k}) = \frac{s^2(\vec{k})}{s^2(\vec{k}) + \gamma^2(\vec{k})}.$$

В случае, когда $f(\vec{r})$ и $N(\vec{r})$ являются соответствующими реализациями двух независимых стационарных процессов, не обязательно гауссовых, применение того же линейного фильтра $\tilde{D}(\vec{k})$ дает $f(\vec{r})$, наименее отклоняющееся в среднеквадратичном смысле, однако не наиболее вероятное.

Естественно, что далеко не при всякой априорной информации относительно статистических свойств изображения и не при всяком выбранном критерии качества оптимальная обработка может быть сведена к линейной фильтрации изображения [4, 6, 7]. Например, в [6, 7] получены существенно нелинейные уравнения, применение которых к обработке изображений типа звездного поля дает обнадеживающие результаты. В качестве априорной информации использовалась лишь положительная

определенность функции $f(\vec{r})$ при известном ее среднем значении. Сигнал $f(\vec{r})$ и шум $N(\vec{r})$ предполагались независимыми случайными функциями, наиболее вероятное значение которых соответствует максимуму энтропии, при условии, что совместное действие сигнала и шума дает измеренное значение яркости $F(\vec{r})$.

Тем не менее, существует целый ряд задач обработки оптических изображений, которые можно решать путем построения соответствующих линейных пространственных фильтров, причем отсутствие заранее выбранного, четко определенного критерия качества требует создания плавно меняющихся фильтров, аналогичных в некотором роде тембровым фильтрам при приеме звуковых сигналов. Такие фильтры необходимы и тогда, когда линейная обработка заведомо не оптимальна.

Например, при передаче изображений посредством импульсно-кодовой модуляции, а также когда изображение испорчено царапинами на пленке или дефектами передающей трубки, помеха представляет собой выбросы, существенно отличающиеся по яркости от изображения. Алгоритм обработки в данном случае, очевидно, состоит в выделении этих выбросов с последующим вычитанием их из изображения. Процедура выделения помех может быть осуществлена путем построения сглаженного (с применением соответствующего линейного фильтра) изображения с последующим вычитанием его из первоисточника. Несмотря на универсальность электронно-вычислительных машин, их применение при решении целого ряда задач линейной фильтрации изображения может оказаться не всегда оправданным.

Задачей настоящей работы является создание аналогового устройства, оперативно выполняющего указанные операции линейной фильтрации изображения. С принципиальной точки зрения наиболее простым является применение для такой цели оптической схемы, использующей когерентные лучи света.

Как известно, оптика предоставляет принципиально простую возможность воздействовать на пространственный спектр изображения. При этом используется свойство тонкой сферической линзы строить в фокальной плоскости преобразование Фурье от распределения поля на входном зрачке. Одна из возможных оптических схем для обработки изображений в когерентном свете, которая использовалась в настоящей работе, приведена на рис. 1.

Параллельный когерентный пучок света Φ от лазера освещает транспарант T (исходное изображение), помещенный непосредственно перед линзой L_1 , фокусное расстояние которой равно f . В фокальной плоскости линзы получается Фурье-образ (пространственный спектр) исходного изображения T , на который мы можем влиять, помещая здесь соответствующие маски

М (фильтры пространственных частот). Здесь же, в непосредственной близости от фокальной плоскости линзы L_1 размещается вторая линза L_2 с фокусным расстоянием $f/2$, строящая на расстоянии f изображение I , отфильтрованное по заданному закону.

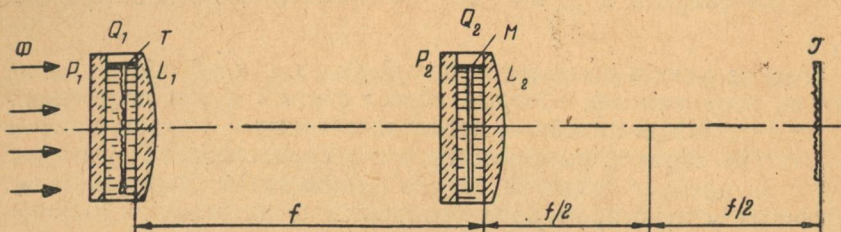


Рис. 1. Оптическая схема установки для обработки изображений методом пространственной фильтрации.

Реально для компенсации фазового шума транспаранта и маски M вместо одиночных сферических линз L_1 и L_2 применяются наполненные иммерсионной жидкостью кюветы Q_1 и Q_2 , состоящие из плосковыпуклых линз L_1 и L_2 и плоскопараллельных пластин P_1 и P_2 . Экспериментальная установка указанного типа была смонтирована и изготовлена в Институте Радиофизики и Электроники АН УССР.

Рабочее поле линз L_1 , $L_2 = 200$ мм, $f = 4000$ мм. Таким образом, относительное отверстие для L_1 было $1:20$, для L_2 — $1:10$. Низкая светосила установки обеспечивала почти полное отсутствие aberrаций как при формировании пространственного спектра, так и при построении изображения. Легко видеть, что при использовании гелий-неонового лазера ($\lambda = 0,63$ мкм) установка с указанными параметрами оптики позволяет передать без искажений пространственный спектр вплоть до граничной частоты 50 мм $^{-1}$. Следовательно, при квадратном поле линзы L_1 в 200 мм число одновременно обрабатываемых точек на исходном изображении T достигает 10^8 .

Следует отметить, что при цифровой обработке изображений лишь самые современные ЭЦВМ в сочетании с быстродействующими вводными и выводными устройствами позволяют обрабатывать 10^8 точек изображения в приемлемые сроки. Кроме того, когерентная оптическая система позволяет осуществлять практически мгновенный визуальный контроль за влиянием закона фильтрации на вид изображения. Некоторые технические трудности представляет, несомненно, синтез масок, однако в последнее время в этом направлении имеются значительные достижения [14—17]. Бесспорно, ряд операций по обработке оптических изображений легче и выгоднее производить на ЭЦВМ.

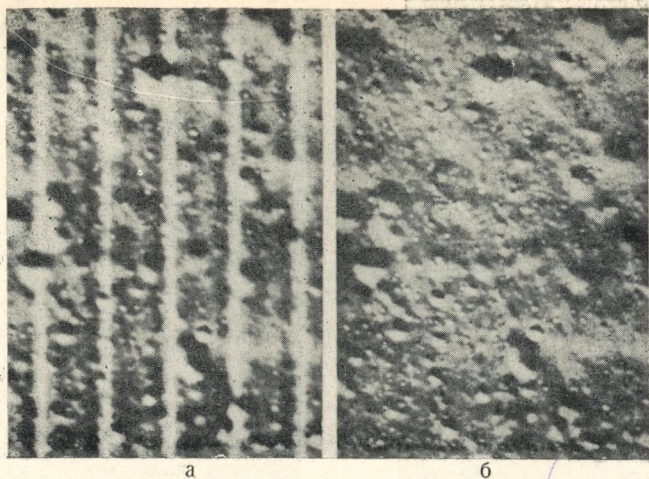


Рис. 2. Устранение периодической помехи. Снимок участка Луны, полученный космическим аппаратом.

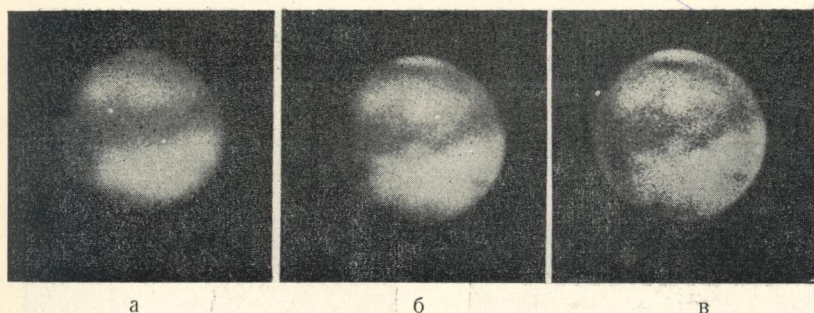


Рис. 3. Восстановление астрономического изображения, Марс, АЗТ-8, 1971 г.

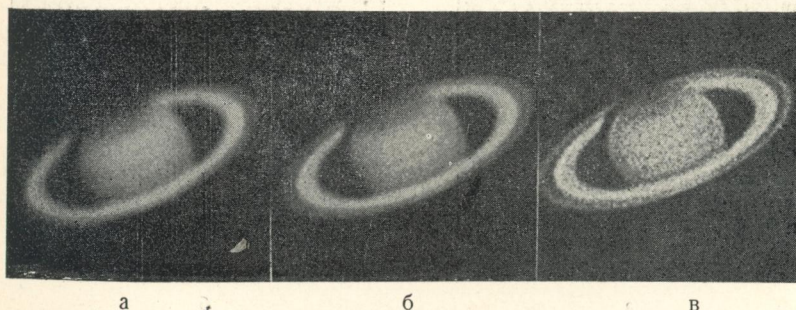


Рис. 4. Восстановление астрономического изображения, Сатурн, АЗТ-8, 1971 г.

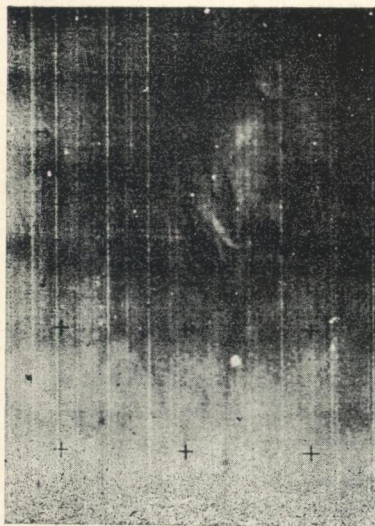


а



б

Рис. 5. Восстановление изображения при точно известном характере искажения и низком уровне шума исходного изображения:
а — «испорченное» изображение;
б — восстановление испорченного изображения.



а



б

Рис. 6. Обработка космического изображения участка поверхности Марса:
а — исходное изображение; б — обработанное изображение.

К таким операциям относится, например, устранение нерегулярных, значительных по интенсивности протяженных дефектов изображения, выравнивание освещенности по полю и т. п. Однако в тех случаях, когда при обработке необходимо воздействие на пространственный спектр изображения, предпочтительнее, по-видимому, оптические методы.

Возвращаясь к характеристике описанной выше когерентной оптической системы, следует добавить, что при указанных параметрах установки в данной работе не было необходимости применять специальные меры по устранению зернистости и дефектности изображения, возникающих при когерентном освещении. Как видно из приведенных ниже иллюстраций, на изображениях нет характерных муаровых узоров и дифракционных картинок от дефектов оптики или фотоматериала. В данной работе использовалась только амплитудная фильтрация, которая оказывается достаточной в целом ряде случаев.

Ниже приводится ряд примеров обработки изображений, отличающихся по характеру искажений.

На рис. 2 приведен пример изображения, испорченного наличием модуляции яркости параллельно одной из осей координат. Это снимок участка поверхности Луны, полученный с помощью космического аппарата. Полосы возникли при наложении последовательных кадров. В этом случае помеха четко локализована в спектре и аккуратное устранение ее резко отсекающим фильтром практически не вредит изображению.

На рис. 3 и 4 представлены попытки повысить четкость астрономических изображений (случай ядра, флуктуирующего вблизи своего среднего значения). В этом случае шум на исходном изображении довольно значителен, и так как отсекания высших пространственных частот, на которых отношение сигнал/шум становится малым, не производилось, зернистость восстановленного изображения возрастает. Изображения на этих рисунках следующие: *а* — исходные, *б* — восстановление с фильтром, соответствующим ожидаемому импульсному отклику системы телескоп + атмосфера, *в* — случай некоторого «перевосстановления».

На рис. 5 приведена обработка изображения в случае, когда шум пренебрежимо мал и точно известен характер искажения изображения (ядро $D(r)$ в уравнении (1)). Изображение восстанавливается практически полностью.

Один из наиболее сложных случаев — обработка космического изображения участка поверхности Марса — изображен на рис. 6. Низкий контраст деталей поверхности наряду с очень высоким уровнем помех (периодических и случайных), малое количество априорной информации о статистических свойствах объекта и помех — все это чрезвычайно затрудняет обработку таких изображений.

Обработка производилась в несколько этапов.

1. Отсекание случайных помех, превосходящих по уровню максимальные контрасты деталей. Эта процедура производилась в некогерентном свете.

2. Фильтрация репулярных помех, четко локализованных в спектре.

3. Фильтрация с помощью амплитудного пространственного фильтра, настроенного на детали изображения.

Проведенные эксперименты позволяют сделать следующие выводы.

Хотя линейная фильтрация не всегда оптимальна, она может оказаться эффективной при решении целого ряда задач обработки изображений.

Применение когерентных оптических систем, использующих линейную амплитудную фильтрацию, для широкого класса задач оказывается оправданным. В ряде случаев когерентная оптическая обработка изображений может успешно конкурировать с машинной обработкой.

Настоящая работа была выполнена в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве между Астрономической обсерваторией ХГУ и ИРЭ АН УССР. В заключение авторы считают своим долгом выразить глубокую благодарность академику А. Я. Усикову за четкую организацию работы и постоянное внимание, а также сотруднику ИРЭ АН УССР Ю. В. Корниенко за весьма плодотворные дискуссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голдман С. Теория информации. М., ИЛ, 1957. 446 с.
2. Тихонов А. Н. ДАН СССР, 1963, т. 151, № 3, с. 501—504.
3. Mc Glamery B. L. J. O. S. A., 1967, 57, N 3, p. 293—297.
4. Иконика. Сборник статей. М., «Наука», 1968. 135 с.
5. Иконика. Сборник статей. М., «Наука», 1970. 132 с.
6. Frieden B. R. J. O. S. A., 1972, 62, N 4, p. 511—518.
7. Frieden B. R., Burke I. I. J. O. S. A., 1972, 62, N-10, p. 1202—1211.
8. Jaynes E. T. Proc. IEEE, ssc 4, 1968, N 3, p. 227—234.
9. Марешаль А., Франсон М. Структура оптического изображения. М., «Мир», 1966. 296 с.
10. О Нейл Е. Л. Введение в статистическую оптику. М., «Мир», 1964. 254 с.
11. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений. М., «Мир», 1972. 232 с.
12. Гудмен Дж. Введение в Фурье-оптику. М., «Мир», 1970. 364 с.
13. Сб. статей. Proc. IEEE, 1972, 60, N 7. 202 p.
14. Stroke G. W. S. P. I. E. Journ., 1971, 9, N 4, p. 131—134.
15. Françon M. Optica Acta, 1973, 20, N 1, p. 1—17.
16. Brandt G. Appl. Opt., 1973, 12, N 2, p. 368—372.
17. Tanaka K., Ozawa K. Pattern Recognit., 1972, 4, N 3, p. 251—262.

ДИАГРАММЫ АЛЬБЕДО-ЦВЕТ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Задача построения диаграмм альбеда-цвет лунной поверхности решалась ранее на основе дискретных измерений. Хорошо известна диаграмма, построенная Н. Н. Сытинской [1]. В данной работе аналогичная задача решается с использованием данных для всего лунного диска.

Основные параметры использованных карт следующие:

«Карта альбеда видимого полушария Луны» [2] — масштаб 1 : 5 000 000, угол фазы, $2^\circ,0$, область спектра $\lambda = 0,62$ мкм, метод построения — эквиденситометрия, весь интервал альбеда разбит эквиденситами на 25 участков, минимальное значение выделенного контраста — 2%, ошибка стандартизации — 5%.

«Карта цвета видимого полушария Луны» [3] — масштаб 1 : 5 000 000, угол фазы $2^\circ,0$, области спектра $\lambda = 0,38$ мкм и $\lambda = 0,62$ мкм, метод построения — сложение позитива ($\lambda = 0,62$ мкм) с негативом ($\lambda = 0,38$ мкм), затем обработка методом эквиденситометрии. В качестве характеристики цвета выбран колор-индекс вида $C = \rho(0,62 \text{ мкм}) / \rho(0,38 \text{ мкм})$. Весь интервал цвета разбит эквиденситами на 17 участков, минимальное значение выделенного контраста — 1%, ошибка стандартизации (по спектрофотометрическим данным Р. Юнкина [4]) составляет 3%.

При построении диаграмм лунный диск был разбит на 18 районов — 9 крупных морей, Море Паров, Океан Бурь разделен на две части — северную и южную, граница между которыми проходит в районе Аристарха, Заливы Центральный и Зноя объединены, материк произвольным образом разделен на 5 районов — центральный, западный, восточный, северный и южный. Диаграмма всего лунного диска получена суммированием по всем районам.

Задача построения диаграмм сводилась к построению для указанных районов двухпараметрических гистограмм по альбедо и цвету. Тем самым не только очерчивались районы встречающихся комбинаций параметров, но и определялось распределение по диаграмме вероятности таких комбинаций.

Технически исходные данные получены следующим образом. Для каждого из 18 районов диска и для каждого из 25 интервалов альбеда строилось распределение цвета по 17 интервалам (одномерные гистограммы). Были составлены 18 матриц с количеством элементов 25×17 . Поскольку интервалы по альбедо и цвету произвольны, исходные матрицы приведены к стандартным интервалам — по альбедо — $\Delta\rho = 0,001$, по цвету — $\Delta C =$

$=0,01$. Полученные матрицы дают распределение по диаграммам вероятности разных комбинаций параметров.

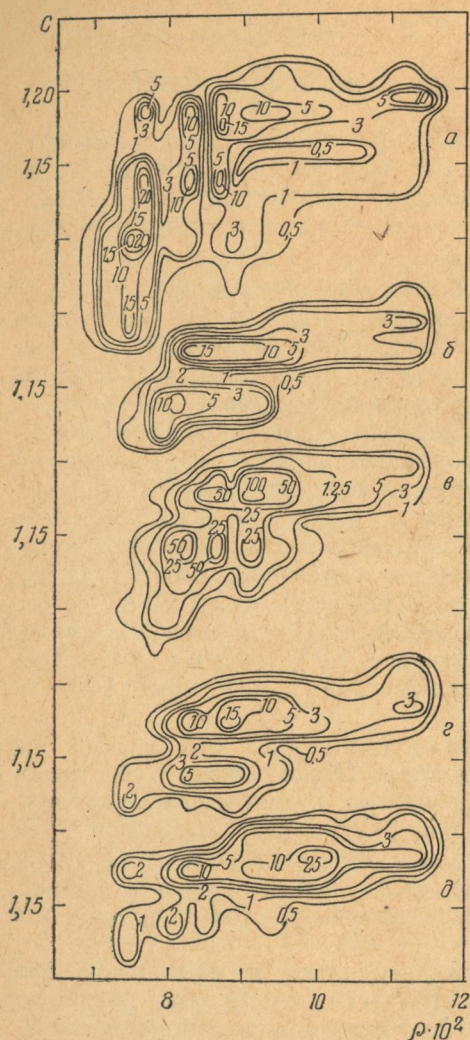


Рис. 1. Диаграммы альbedo-цвет синих морей:

а — Море Спокойствия; б — Море Влажности; в — юг Океана Бурь; г — Море Паров; д — Заливы Зноя и Центральный.

Для всех районов диаграммы составлены в одних, хотя и произвольных единицах (1 на диаграммах составляет $0,1 \text{ см}^2$ в масштабе карт, т. е. $2,63 \cdot 10^{-5}$ часть лунного диска при $\Delta\rho \times \Delta C = 10^{-5}$). Графически диаграммы представлены в виде линий равной вероятности различных комбинаций параметров на рис. 1, 2.

Построение диаграмм преследовало две цели: выявить связь альbedo-цвет и в максимальной степени объективно разделить диаграмму лунного диска на отдельные участки с тем, чтобы использовать такое деление при двухпараметрическом районировании лунной поверхности.

Рассмотрим полученные диаграммы с точки зрения указанных задач. Первый вывод, следующий из рассмотрения, — связь альbedo-цвет не является функциональной, можно лишь говорить о выделении на диаграмме ряда статистических последовательностей для морского и материкового лунного вещества.

На диаграммах синих морей (см. рис. 1, цвет условный, поскольку его

различия на Луне невелики, средний для Луны цвет принят нейтральным) четко выделяются две последовательности — последовательность 1 (рис. 3), соответствующая темным внутренним районам неправильных морей и отличающая-

ся резким возрастанием колор-индекса при малом росте альбедо, и последовательность 3, которая соответствует береговым районам этих морей и отличается малыми вариациями цвета при значительных вариациях альбедо. На стыке последовательностей наблюдается характерный излом.

На диаграммах нейтральных морей последовательность 1 становится все менее выраженной и пропадает при переходе к красным морям. На смену ей приходит последовательность 2, соответствующая, как правило, самым темным участкам круговых морей и характеризующаяся гораздо большим, чем у последовательности 1, значением колор-индекса. Таким образом, можно заключить, что последовательности 1 и 2 могут быть аналогами соответственно для неправильных и круговых морей.

Последовательность 3 хорошо прослеживается и для нейтральных морей, расположенных на нейтральном материке. При переходе к красным морям эта последовательность в некоторых морях становится слабо выраженной, а в остальных вообще отсутствует. Кроме того, меняется ее смысл — из последовательности, соответствующей периферийным морским районам, она становится последовательностью внутренних районов красных морей. Для периферийных же районов характерна последовательность 4 (кроме ее низкоальбедной части). Эта последовательность смещена по отношению к последовательности 3 в сторону несколько больших колор-индексов. Такое незначительное смещение весьма существенно. Поскольку нейтральный материк обладает колор-индексом, практически равным колор-индексу последовательности 4, моря с последовательностью 3 все же выделяются в цвете на фоне материка. Границы круговых морей с последовательностью 4 в цвете не видны.

Кроме отмеченных последовательностей, для красных морей характерны две красные последовательности 5 и 6. Они хорошо выделяются на всех диаграммах красных морей.

Следовательно, из 6 морских последовательностей 4 отличаются по цвету и в пределах каждой из них не показывают зависимости альбедо от цвета (последовательности 3—6). Для остальных двух такая зависимость, хотя и статистического характера, намечается. Пренебрегая разделением диаграммы на последовательности, можно говорить о тенденции возрастания колор-индекса с ростом альбедо. Тем самым подтверждается общепризнанная связь светлее — краснее. Очевидно, такое выражение связи альбедо-цвет является чрезмерным огрублением реальной связи и при интерпретации может привести к ошибочным выводам физического характера.

Материковые диаграммы альбедо-цвет (рис. 2) показывают меньше разнообразия, чем морские. Для них характерно наличие трех последовательностей, разнесенных по величине колор-индекса и слабо различающихся по альбедо. На рис. 2, а пред-

ставлена диаграмма северного материка, на которой видны все три последовательности (7—9 на рис. 3). На рис. 2, *в* представлена диаграмма центрального материка, на которой выделяется

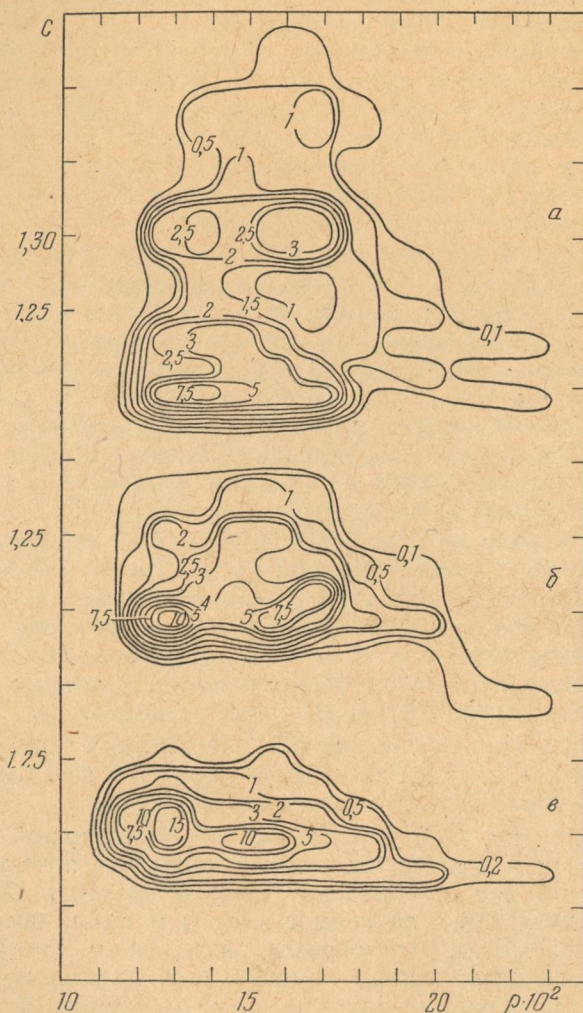


Рис. 2. Материковые диаграммы альbedo-цвет: *а* — северный материк; *б* — западный; *в* — центральный.

лишь последовательность 7. На остальных материковых диаграммах выделяются две последовательности 7 и 8.

Характерным для последовательностей 7 и 8 является излом в районе $\rho = 0,17$. При $\rho < 0,17$ последовательности характеризуются

ются отсутствием связи альbedo-цвет — при значительных вариациях альbedo вариации колор-индекса в каждой из последовательностей малы. При $\rho > 0,17$ у последовательностей 7 и 8 такая связь появляется, при возрастании альbedo колор-индекс соответствующих районов падает. Поэтому последовательности 7 и 8 можно разделить на части с низким и высоким альbedo.

Таким образом, лишь для самых низких ($\rho < 0,085$) и для самых высоких ($\rho > 0,17$) значений альbedo можно говорить о статистической зависимости, хотя и неоднозначной, между альbedo и цветом. Для остальных значений альbedo такая связь отсутствует.

На рис. 3 показаны все рассмотренные последовательности. Из него видно, что материковые последовательности 7, 8 и 9 являются продолжением морских последовательностей 4, 5, 6. Как правило, и на поверхности Луны переход от моря к материку происходит путем перехода между соответствующими последовательностями. Это приводит к тому, что такие границы морей в цвете не проявляются. Лишь в редких случаях в зонах с узкой, практически отсутствующей периферийной частью морской поверхности становится возможным переход с 4 на 8 последовательность. В этом случае границы моря выделяются.

В заключение можно сказать, что связь альbedo и цвета сложна и выражается девятью последовательностями.

При двухпараметрическом районировании Луны объективно выделяются 9 типов лунной поверхности. Если учесть сложность 7 и 8 последовательностей, разделение Луны на 11 типов поверхности в достаточной мере надежно и объективно. Естественно, исходные данные позволяют детально разделить каждый из указанных типов (верхний предел деления — около 300 градаций). Однако общее количество делений резко ограничивается возможностью их технического изображения. В данном случае решено ограничить количество градаций 24 членами. Деление каждого из 11 типов поверхности основывается на примерно одинаковой насыщенности линиями разных районов Луны. На рис. 3 24 градации показаны прямоугольниками.

Исходя из изложенного, настоящую работу можно считать легендой двухпараметрического районирования лунной поверхности. В основе такого районирования лежат принципы, отличные

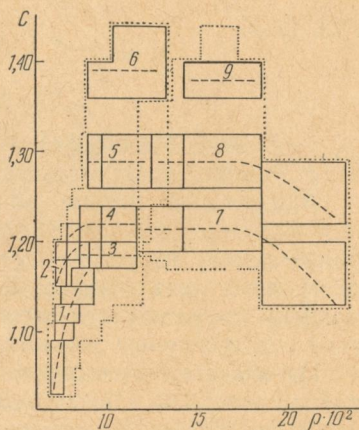


Рис. 3. Схема диаграммы альbedo-цвет лунного диска.

от принципов стратиграфии — основы геологических карт Луны. Эти принципы являются в достаточной мере объективными и позволят выделить на Луне районы, различающиеся по своим физико-химическим свойствам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сытинская Н. Н. Происхождение и природа наружного покрова лунной поверхности по данным сравнительного изучения диаграмм светлота-цвет. — «Уч. зап. ЛГУ», 1957, т. 190, с. 74—87.
2. Евсюков Н. Н. Карта альbedo видимого полушария Луны. — Изд-во «Наукова думка». Киев, 1973.
3. Евсюков Н. Н. Карта цвета видимого полушария Луны. — Изд-во «Наукова думка». Киев, 1973.
4. Younkin R. L. Optical Reflectance of Local Areas of the Moon, *Astron. J.*, 1970, vol. 75, № 7, p. 831—841.

УДК 523.45

М. Ф. ХОДЯЧИХ, канд. физ.-мат. наук

О ВОЗДЕЙСТВИИ ИО НА АТМОСФЕРУ ЮПИТЕРА

Анализ воздействия внешних факторов на атмосферы планет-гигантов при достаточно большом наблюдательном материале может способствовать уточнению наших представлений о строении их атмосфер. К настоящему времени надежно установлена корреляция изменений оптических характеристик Юпитера с положением спутника Ио на орбите [1—3].

Из известных механизмов воздействия спутника на атмосферу планеты, способных вызвать изменение состояния облачных слоев, наиболее вероятным является воздействие посредством приливных сил. По-видимому, приливные силы приводят к нарушению термодинамического равновесия в атмосфере, вследствие чего происходят фазовые переходы, изменяющие параметры облачных слоев и оптические характеристики видимой поверхности планеты.

Зависимость изменений оптических характеристик Юпитера от долготы Ио на орбите имеет примерно такой же вид, как и зависимость приливной силы от долготы. Учитывая эти обстоятельства, в дальнейшем будем считать, что основной причиной корреляции изменений оптических характеристик Юпитера с долготой Ио на орбите являются приливные силы. Из физических соображений на состояние облаков в атмосфере планеты должна влиять не сама приливная сила, а ее вертикальная составляющая.

Рассчитаем величину вертикальной составляющей приливо-образующего ускорения, создаваемого спутником в произвольной точке поверхности планеты. Эта величина будет равна про-

екции разности ускорений, создаваемых спутником в наблюдаемой точке планеты и в центре планеты на местную вертикаль. Пусть спутник движется по круговой орбите радиуса a , радиус планеты равен R . Тогда с помощью закона всемирного тяготения найдем вертикальную составляющую приливообразующего ускорения

$$g_{\text{пр}} = \frac{\gamma M_c}{a^2} \left(\frac{a^2 \cos \varphi'}{l^2} - \cos \varphi \right).$$

Здесь γ — гравитационная постоянная;

M_c — масса спутника;

φ — планетоцентрический угол между направлением на спутник и наблюдаемую точку;

φ' — зенитное расстояние спутника в наблюдаемой точке планеты:

$$\sin \varphi' = \frac{a}{l} \sin \varphi; \quad \varphi + \frac{R}{a} > \varphi' \geq \varphi;$$

$$l^2 = a^2 + R^2 - 2aR \cos \varphi.$$

Если наблюдаемая точка лежит на экваторе планеты на центральном меридиане, а орбита спутника расположена в экваториальной плоскости планеты, то

$$\varphi = \lambda_c - 180^\circ,$$

где λ_c — планетоцентрическая долгота спутника, отсчитываемая от его верхнего геоцентрического соединения. Галилеевы спутники Юпитера движутся примерно по круговым орбитам, которые лежат в экваториальной плоскости планеты. Следовательно, написанные выше формулы можно использовать для расчета создаваемых ими приливообразующих ускорений. Максимальная величина $g_{\text{пр}}$ достигается при $\varphi = 0$. В таблице 1 приведены значения $g_{\text{пр}}$ для центра диска планеты в момент прохождения галилеевых спутников перед Юпитером.

Таблица 1

Спутник	$M_c (10^{25} \text{ з})$	$\frac{a}{R}$	$g_{\text{пр}} (10^{-3} \text{ см/сек}^2)$
Ио	6,98	5,94	1,16
Европа	4,68	9,44	0,17
Ганимед	15,36	15,04	0,13
Каллисто	8,70	26,47	0,013

Отсюда видно, что наибольшая приливная сила создается спутником Ио, хотя наибольшей массой обладает Ганимед.

При $a \gg R \quad g_{\text{пр}} \simeq \frac{\gamma M_c \cdot 2R}{a^3} \cos^2 \varphi.$

Обстоятельное исследование влияния Луны на процессы в земной атмосфере можно найти в статье С. Чепмана [4]. Основные выводы, нашедшие подтверждение в более поздних работах, заключаются в следующем: зависимость изменений давления от положения Луны на орбите можно представить в виде $b \cdot \cos(2t + \varphi_0)$, где b — амплитуда изменений давления; t — часовой угол Луны в месте наблюдений; φ_0 — смещение по фазе, зависящее от географических условий и времени года. Величина b примерно на два порядка меньше наибольших изменений давления. Поэтому зависимость изменений давления от фазы Луны обнаруживается по большим рядам наблюдений, причем для обработки отбираются периоды с устойчивой погодой.

На Юпитере приливные силы, создаваемые спутником Ио, более чем на порядок превышают лунные; количество солнечной энергии, падающей на единицу площади, в 27 раз меньше, чем на Земле. Следовательно, энергетическое соотношение приливных сил и солнечного облучения увеличивается по крайней мере на два порядка и обнаружение корреляции по небольшому количеству измерений представляется вполне возможным.

Анализ изменений оптических характеристик планеты в зависимости от положения Ио на орбите показал, что эти изменения в рамках модели с двумя облачными слоями происходят вследствие изменения концентрации частиц в верхнем облачном слое [3, 5]. На рис. 1 приведена диаграмма цвет-альбеда, по-

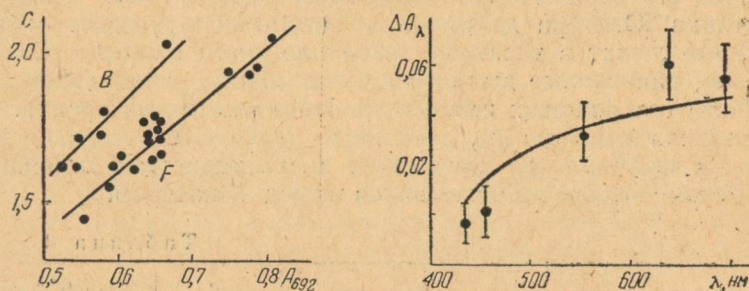


Рис. 1. Диаграмма альбеда-цвет.

Рис. 2. Наблюдаемая (точки) и теоретическая (сплошная линия) зависимость ΔA_λ от длины волны.

строенная по фотоэлектрическим наблюдениям 1971 г. [5]. Точки диаграммы разбиваются на две последовательности B и F , что соответствует различным альбедам нижнего слоя облаков. Точки, принадлежащие одной последовательности, относятся к участкам планеты, имеющим примерно одинаковые альbedo нижнего облачного слоя и разные оптические толщины верхнего слоя [5].

В зависимости от приливных сил меняется прозрачность верхнего слоя, поэтому для сопоставления с долготой Ио следует взять точки, принадлежащие одной последовательности. Для этого лучше использовать наблюдения, попавшие на последовательность F , так как ей соответствует большее число дат наблюдений.

Учитывая сказанное, из рассмотрения следует исключить наблюдения, соответствующие большим изменениям оптических характеристик, поскольку они могут происходить вследствие влияния других факторов, приводящих к резким изменениям состояния верхнего облачного слоя. Для точек, попавших в среднюю часть последовательности F , в табл. 2 приведены

Т а б л и ц а 2

Дата	T_0	A_λ					C	λ_c
		427	443	553	640	692		
17.V	21 ^h 40 ^m	0,379	0,391	0,570	0,650	0,587	1,55	131° 7
18	21 25	0,393	0,402	0,610	0,645	0,647	1,65	332,9
20	21 36	0,362	0,387	0,607	0,690	0,646	1,78	22,2
1.VI	21 09	0,365	0,369	0,586	0,648	0,596	1,63	301,5
3	21 54	0,394	0,390	0,625	0,709	0,654	1,66	354,9
4	20 47	0,370	0,370	0,601	0,700	0,641	1,73	189,3
5	20 38	0,358	0,393	0,596	0,680	0,634	1,77	31,8
6	20 27	0,366	0,383	0,622	0,690	0,653	1,78	233,7
7	20 09	0,380	0,386	0,613	0,680	0,652	1,72	74,8
13	20 05	0,376	0,382	0,604	0,677	0,654	1,74	215,9
23	19 41	0,363	0,367	0,608	0,638	0,603	1,66	88,3
26	19 49	0,372	0,362	0,581	0,641	0,641	1,72	339,9
28	19 45	0,385	0,360	0,551	0,640	0,619	1,61	26,9

дата и момент наблюдений, значения альбеда в пяти участках спектра A_λ , $C = \frac{A_{692}}{A_{427}}$, долгота спутника λ_c . По этим данным была рассчитана корреляционная функция $r(\lambda_c - \Delta\lambda_c)$ величин G и $g_{\text{пр}}(\lambda_c - \Delta\lambda_c)$, где $\Delta\lambda_c$ — смещение по фазе. Смещение по фазе $\Delta\lambda_c$ варьировалось в пределах 0—358° с шагом 2°. Приведем экстремумы корреляционной функции и соответствующие им смещения по фазе:

$\Delta\lambda_c$	35°	125°	215°	305°
r	0,65	—0,72	0,66	—0,63

Отсюда видно, что смещение по фазе можно определить с точностью до угла, кратного 90°. Из физических соображений можно принять, что смещение по фазе минимально, т. е. равно для данного периода наблюдений 35°. При таком смещении по фазе были рассчитаны коэффициенты корреляции r между A_λ

и $g_{\text{пр}} (\lambda_c - 35^\circ)$. Величины r и доверительные полуинтервалы $\gamma \Delta r$ при надежности 0,95 для каждого участка спектра приведены в табл. 3.

При принятой надежности для фильтров с λ_{max} 427 и 443 нм коэффициенты корреляции незначимы, в то время как для остальных фильтров r значимы. Далее для каждого участка спектра были построены уравнения регрессии A_λ по $g_{\text{пр}} (\lambda_c - 35^\circ)$. и оценены изменения альбеда ΔA_λ соответствующие наибольшие

Таблица 3

λ , нм	427	443	553	640	692
r	-0,10	+0,03	+0,56	+0,70	+0,63
$\gamma \Delta r$	0,66	0,67	0,46	0,34	0,40

му изменению приливообразующего ускорения. Величины ΔA_λ в зависимости от длины волны показаны на рис. 2 (указана среднеквадратичная погрешность). Применяв метод расчета, изложенный в [5], можно оценить изменения оптической толщины верхнего облачного слоя. Наблюдаемым амплитудам альбеда соответствует изменение концентрации частиц в слое аэрозолей на 18%. При $\lambda \approx 0,7$ мк это соответствует изменению оптической толщины на 0,47. Теоретическая зависимость ΔA_λ от длины волны, соответствующая такому изменению концентрации частиц, показана на рис. 2 сплошной линией. Согласие теоретической и наблюдаемой зависимости ΔA_λ от длины волны подтверждает сделанный ранее вывод о том, что наблюдаемая корреляция обусловлена изменением характеристик верхнего слоя облаков под воздействием Ио. Если бы изменения происходили вследствие изменений альбеда нижнего облачного слоя, наблюдаемые ΔA в синих лучах были бы больше, чем в красных, так как прозрачность верхнего облачного слоя в красных лучах меньше, чем в синих.

В заключение следует сделать методологическое замечание, вытекающее из проделанной работы. В период 1971 г. экваториальная зона планеты была неоднородной и концентрация частиц в верхнем облачном слое иногда менялась значительно (~ 2 раза). Для обнаружения корреляции изменений оптических характеристик Юпитера с долготой Ио эти два обстоятельства неблагоприятны. Поэтому при постановке работ по обнаружению такой корреляции желательно измерение нескольких оптических характеристик. Анализ этих измерений, проведенных в рамках определенной модели атмосферы, поможет решить, какие параметры модели атмосферы претерпевали изменения. Для такого анализа, по-видимому, лучше использовать модель с двумя облачными слоями, так как она хорошо согласуется

с наблюдаемыми изменениями оптических характеристик по спектру и во времени.

На примере данной работы можно видеть, что указанным методом можно найти критерий для отбора наблюдений, которые следует сопоставлять с долготой спутника. В период противостояния 1971 г. наблюдения Юпитера проводились также в АФИ Каз. ССР [6]. Авторы этой работы пытались обнаружить корреляцию эквивалентных ширин W_n полосы поглощения CH_4 6190 Å экваториальной зоны Юпитера с положением Ио на орбите. Как отмечается в [6], такая корреляция проявляется, но разброс точек значителен. К сожалению, в работе измерялась только одна оптическая характеристика W_n и проанализировать причины такого разброса не представляется возможным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ходячих М. Ф. О некоторых особенностях атмосферы Юпитера. — «Вестник Харьк. ун-та», 1968, № 34. Астрономия, вып. 4, с. 71—78.
2. Ходячих М. Ф. Изменения эквивалентной ширины полосы поглощения метана 6190 Å, наблюдаемые на Юпитере. — «Вестник Харьк. ун-та», 1970, № 52. Астрономия, вып. 5, с. 39—42.
3. Ходячих М. Ф. Фотоэлектрические наблюдения Юпитера. — «Вестник Харьк. ун-та», 1971, № 65. Астрономия, вып. 4, с. 60—62.
4. Чепман С. Приливы в атмосфере. — «Астроном. журнал», 1938, т. XV, вып. 3, с. 255—258.
5. Литкевич Н. Г., Ходячих М. Ф. Фотометрия Юпитера с интерференционными фильтрами. — «Вестник Харьк. ун-та», 1973, № 99. Астрономия, вып. 8, с. 18—26.
6. Егоров Ю. А., Тейфель В. Г., Харитонов Г. А. Об изменениях поглощения CH_4 в экваториальном поясе Юпитера. — «Астроном. циркуляр», 1971, № 656, с. 3—5.

УДК 523.894

К. Н. КУЗЬМЕНКО, канд. физ.-мат. наук,
Н. С. ОЛИФЕР,
Л. С. ПАВЛЕНКО,
В. Х. ПЛУЖНИКОВ, канд. физ.-мат. наук

КАТАЛОГ СКЛОНЕНИЙ ЗВЕЗД ФКСЗ В СИСТЕМЕ $FK4$, СОСТАВЛЕННЫЙ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В. А. МИХАЙЛОВА

В 1948—1953 гг. в Астрономической Обсерватории Харьковского университета на меридианном округе Репсолда [4] В. А. Михайлов провел наблюдения склонений звезд ФКСЗ, придерживаясь общей инструкции Астрометрической комиссии Астросовета АН СССР.

Известно, что наибольшая точность дифференциальных определений координат в случайном и систематическом отношениях достигается при зонных наблюдениях, причем особенно выгодны наблюдения в узких зонах. Поэтому программа работы в ХАО состояла в наблюдении в каждом четырехчасовом участ-

ке прямого восхождения 11 основных 10-градусных зон. Каждый вечер наблюдались две зоны.

Поскольку опорные звезды были ярче определяемых, они понижали видимую яркость изображения звезды до яркости слабых звезд программы при помощи поглощающих сеток, укрепленных перед объективом в револьверном держателе. Качество изображений оценивалось пятибалльной системой: α , β , γ , δ , ϵ . Спокойствие изображений оценивалось тоже пятибалльной системой: 1, 2, 3, 4, 5. Самое опасное изображение — волнообразное движение звезды, когда ошибка точки экватора может быть несколько секунд дуги, обозначалось 5.

Точки экватора вычислялись по формуле

$$A = M + \Delta M_r + \Delta M_e + m + \Delta m_k + \Delta m_i + \rho - \delta,$$

где A — точка экватора;

M — среднее из отсчетов четырех микроскопов;

ΔM_r — поправка за рэн;

ΔM_e — поправка за ошибки делений круга;

m — отсчет окулярного микрометра, выраженный в секундах дуги;

Δm_k — поправка за кривизну параллели;

Δm_i — поправка за наклон нити;

ρ — рефракция;

δ — склонение.

Вычисление видимых мест опорных и определяемых звезд выполнено сотрудниками вычислительной лаборатории ГАО АН СССР на ЭВМ «Минск-22».

При наблюдении каждой звезды главную и вспомогательную пары нитей микроскопа наводили на младший и старший штрихи. Рэн микроскопов определяли по отсчетам каждого вечера. Способом Бесселя исследовали периодические ошибки винтов микроскоп-микрометров при помощи специальных дополнительных делений на круге [1]. Около 0° на лимбе (под главными делениями) нанесены 9 вспомогательных штрихов на различных расстояниях друг от друга, так что наибольший интервал равен трем оборотам каждого из барабанов, наименьший — $1\frac{1}{4}$ оборота.

Эти вспомогательные штрихи грубее, короче и менее отчетливо видны, чем главные. Поэтому наведения на вспомогательные штрихи не имеют такой же точности, как наведения на главные. При исследовании были использованы интервалы в $1\frac{1}{4}$ и $1\frac{1}{2}$ оборота.

Периодические ошибки винтов микроскопов представлены уравнением

$$\Delta = x \sin \alpha + y \cos \alpha.$$

Так как полученные ошибки винтов оказались ниже предела точности наблюдений, при дальнейшей обработке измерений их можно было не принимать во внимание.

В обработку были введены поправки за ошибки делений круга, полученные способом Брунса в 1946 г. [2]. Но не все штрихи лимба обладают одинаковой резкостью и отчетливостью. В некоторых из них краска не полностью заполняет углубление штриха, иногда края штриха представляют не прямые линии, а извилистые. При этом точность наведения понижается тем больше, чем больше оба края одного и того же штриха уклоняются от полной симметричности относительно друг друга, т. е. от зеркального изображения друг друга. По ширине штрихи различаются между собой. Поэтому в 1947 г. провели оценку качества изображения штрихов [3], которая учитывалась при наблюдении.

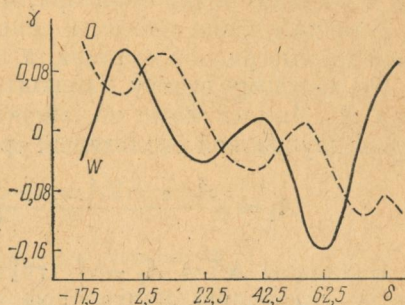


Рис. 1. Система инструмента при КО и КВ.

В 1947 г. были исследованы винты окулярного микрометра [1]. Поправки за периодические и ходовые ошибки винта склонений не достигают $0'',001$ и ими вполне можно пренебречь.

Цена оборота винта δ оказалась равной $48'',303 \pm 0'',015$.

Для учета рефракции температура и давление воздуха отмечались в начале, конце наблюдений и несколько раз в середине. Для этого использовались два ртутных термометра — один наружный (установлен на расстоянии 3 м от северной стороны павильона) и второй внутри павильона при барометре. Вычисление рефракции производилось по Пулковским таблицам рефракции.

Средняя квадратическая ошибка отдельного значения точки экватора была вычислена для различных пятиградусных зон и приведена в табл. 1. Средняя квадратическая ошибка отдельного значения точки экватора по всем наблюдениям оказалась

Таблица 1

Зона, град	ϵ , сек	Зона, град	ϵ , сек	Зона, град	ϵ , сек	Зона, град	ϵ , сек
-20, -15	$\pm 0,56$	+10, +15	+0,50	+35, +40	$\pm 0,32$	+65, +70	$\pm 0,42$
-15, -10	54	+15, +20	40	+40, +45	40	+70, +75	40
-10, -5	37	+20, +25	43	+45, +50	41	+75, +80	36
-5, 0	48	+25, +30	40	+50, +55	42	+80, +85	44
0, +5	40	+30, +35	37	+55, +60	35	+85, +90	35
+5, +10	40			+60, +65	41		

равной $\pm 0,41$. (Средняя квадратическая ошибка вычислялась по формуле

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{N-n}},$$

где N — число точек экватора; n — число звезд).

Для получения системы инструмента были использованы специальные ряды Кюстнера, а также обычные зонные вечера.

По каждому вечеру наблюдений были получены точки экватора A_i , вычисленные по опорным звездам и выравненные методом двукратной скользящей средней:

$$A_i = \frac{A_{i-2} + 2A_{i-1} + 3A_i + 2A_{i+1} + A_{i+2}}{9}.$$

Величины $\Delta A = \bar{A}_i - A_i$ группировали в пятиградусные зоны по склонению, полученные средние ΔA выравнивали тройками с учетом числа звезд с помощью формулы

$$\bar{x}_2 = \frac{n_1 x_1 + n_2 x_2 + n_3 x_3}{n_1 + n_2 + n_3}.$$

После этого составляли решетку Циммермана и находили γ_i для каждой зоны (γ_i — разность «фундаментальная система минус инструментальная система»).

Интерес вызывает сравнение системы инструмента при KO и KW (рис. 1). Здесь сказались особенности нашего инструмента и павильона [4].

Каталог определяемых звезд и его основные характеристики

Склонения ФКСЗ определялись отдельно для каждого положения инструмента. За половину разности $KO - KW$ исправлялось каждое наблюдаемое склонение.

Таблица 2

Зона, град	ε , сек	Зона, град	ε , сек
-20, 0	$\pm 0,39$	+40, +60	$\pm 0,40$
0, +20	36	+60, +80	41
+20, +40	40	+80, +90	40

По отклонениям отдельных значений склонений от их средних были определены средние квадратические ошибки одного наблюдения:

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{N-m}},$$

где m — количество звезд в зоне;
 N — общее число их наблюдений;
 Δ — уклонения склонений, полученных по отдельным наблюдениям определяемых звезд, от вычисленных средних.
 Настоящий каталог в системе $FK4$ был сравнен с ПФКСЗ

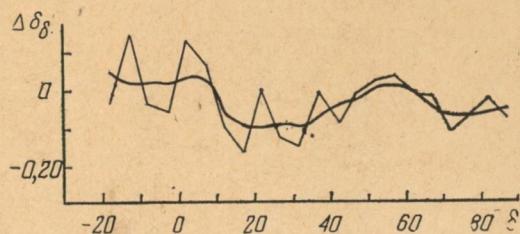


Рис. 3. Систематические разности $\Delta\delta_\alpha$

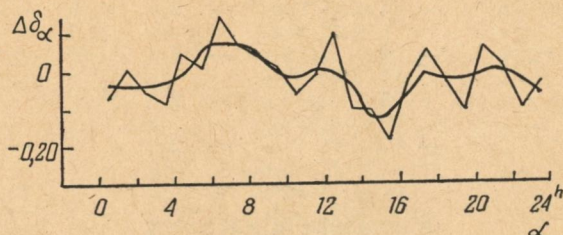


Рис. 2. Систематические разности $\Delta\delta_\delta$

(рис. 2 и 3). Это сравнение [5] показало, насколько хорошо удалось выдержать систему $FK4$.

Результаты сравнения приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Среднее значение, δ град	X —ПФКСЗ, сек	ПФКСЗ— $FK4$, сек	X — $FK4$, сек
80	—0,06	+0,05	—0,01
75	— 7	+ 3	— 4
70	— 6	+ 2	— 4
65	— 2	+ 2	0
60	0	+ 4	+ 4
55	+ 1	+ 3	+ 4
50	— 1	+ 3	+ 2
45	— 4	+ 4	0
40	— 6	+ 4	— 2
35	— 9	+ 4	— 5
30	— 10	+ 3	— 7
25	— 10	+ 4	— 6
20	— 10	+ 4	— 6
15	— 8	+ 2	— 6
10	— 2	+ 1	— 1
5	+ 4	— 1	+ 3

Таблица 4

Среднее значение, α ч	X—ПФКСЗ, сек	ПФКСЗ—FK4, сек	X—FK4, сек
0	+0,07	—0,05	+0,02
2	+ 4	— 4	0
4	+ 4	— 2	+ 2
6	+ 5	+ 7	+ 12
8	0	+ 6	+ 6
10	— 3	— 1	— 4
12	— 7	0	— 7
14	— 5	— 8	— 13
16	— 5	— 8	— 13
18	— 4	— 2	— 6
20	+ 1	— 2	— 1
22	— 3	— 2	— 5

Пояснение к каталогу

В первом столбце каталога указан номер звезды по списку 645 звезд, во втором столбце — яркость, в третьем — приближенное прямое восхождение, в четвертом — склонения, отнесенные к равноденствию 1950,0 и к эпохе 1950,0. В пятом и шестом — эпоха и количество наблюдений.

В заключение выражаем глубокую благодарность сотрудникам вычислительной лаборатории ГАО АН СССР за вычисления видимых мест опорных и определяемых звезд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьменко К. Н., Михайлов В. А. Исследование винтов окулярного микрометра Харьковского меридианного круга. — «Труды ХАО», 1954, № 11, с. 43—55.
2. Кузьменко К. Н. Об ошибках делений меридианного круга Харьковской астрономической обсерватории. — «Труды ХАО», 1950, № 9, с. 43—61.
3. Кузьменко К. Н. Об общих ошибках делений меридианного круга ХАО. Автореф. канд. дис., Харьков, 1950.
4. Кузьменко К. Н., Плужников В. Х. Каталог прямых восхождений звезд ФКСЗ в системе FK3, составленный по наблюдениям на Харьковском меридианном круге в 1953—1956 гг. — «Труды ХАО», 1957, № 13, с. 13—61.
5. Положенцев Д. Д. Итоги меридианных наблюдений каталога слабых звезд. — «Труды 17-й астрометрической конференции СССР», 1967, с. 7—19.

КАТАЛОГ

N_{645}	m	$\alpha_{1950,0}$	$\delta_{1950,0}$	Средняя эпоха наблюдений 1950+	n
1	7,8	0 ^h 01 ^m	+64°52'28",31	+1,143	3
2	7,3	0 02	+52 53 36,58	-0,264	3
3	7,6	0 06	+0 24 50,80	+1,006	4
7	7,9	0 11	+75 44 40,03	-0,296	1
8	7,5	0 15	+44 18 01,22	+1,836	1
9	7,9	0 17	+55 26 12,93	+1,567	4
10	7,8	0 22	+34 45 37,51	-0,038	5
11	7,7	0 24	+2 32 15,13	+1,006	4
13	7,3	0 29	+19 22 00,79	+0,734	1
14	7,5	0 32	+67 39 03,27	-1,227	1
15	8,2	0 34	-3 40 31,86	+0,729	1
17	8,2	0 39	+11 40 16,92	-1,227	1
18	7,8	0 42	-12 25 03,34	+1,303	2
19	7,6	0 43	+30 40 44,14	+0,026	4
20	7,6	0 44	+46 05 27,74	+1,246	2
21	8,0	0 47	-8 07 17,60	+1,281	2
22	8,3	0 49	+85 25 54,34	+1,599	4
23	8,2	0 52	+0 31 10,09	+1,100	3
24	7,5	0 55	+26 30 58,10	-1,270	1
26	8,2	0 58	+7 45 55,82	-1,227	1
27	7,3	1 01	+38 25 14,54	+2,713	1
28	7,5	1 02	-14 01 36,18	+1,810	2
29	8,0	1 05	+59 52 10,77	+0,753	1
31	7,8	1 11	-7 53 12,46	+1,449	3
32	7,7	1 13	+81 17 50,72	+3,000	2
34	7,8	1 16	+7 10 04,31	-2,237	2
35	7,5	1 18	+15 26 03,29	+0,734	1
36	7,9	1 22	+35 28 23,00	+2,274	2
37	7,7	1 24	+25 10 51,21	-0,038	5
38	8,0	1 26	+65 58 58,07	+1,786	1
39	8,0	1 30	-19 13 58,90	+1,833	1
40	7,2	1 30	+54 41 19,01	-0,011	4
41	8,1	1 33	+47 49 06,07	+0,838	1
42	8,0	1 33	+32 35 56,58	+1,804	2
43	7,6	1 38	+22 46 22,68	+0,773	1
44	7,6	1 39	+15 31 36,68	+0,729	1
48	8,0	1 52	+69 57 34,29	-1,227	1
49	7,7	1 53	+52 14 44,00	+0,248	4
53	7,7	2 00	-4 34 10,95	+0,732	2
54	7,3	2 01	-17 45 11,08	+1,280	2
55	7,2	2 02	+9 50 17,40	+0,422	3
58	8,0	2 10	+19 35 15,11	+0,745	3
60	7,6	2 13	+2 00 24,91	+1,836	1
62	7,6	2 17	+59 01 10,97	+1,176	3
63	8,0	2 22	+74 21 31,72	+1,786	1
64	7,5	2 22	+32 10 57,23	-0,038	5
65	7,3	2 25	-7 09 06,53	+1,303	2
67	7,6	2 27	+47 37 54,99	-0,021	4
68	8,5	2 29	+81 25 30,27	+0,300	2
70	7,8	2 35	+12 03 13,09	+0,422	3
73	7,7	2 40	+23 51 42,59	+2,713	1
75	7,1	2 46	-4 25 54,30	+0,732	2

N_{645}	m	$\alpha_{1950,0}$		$\delta_{1950,0}$		Средняя эпоха наблюдений 1950+	n
76	8,4	2 ^h	48 ^m	+51	59 42,45	+0,340	5
77	7,6	2	50	+14	28 00,52	+0,256	2
78	7,7	2	53	+72	28 22,59	+1,786	1
80	7,5	2	58	+35	55 15,24	+2,274	2
82	7,4	3	01	-5	26 15,80	+1,464	3
85	7,2	3	08	+74	03 24,29	-1,227	1
86	7,3	3	10	+30	52 58,02	-1,268	2
89	7,6	3	16	+68	16 38,36	+0,280	2
90	7,5	3	17	+1	01 06,36	+0,280	2
91	7,2	3	21	+19	43 49,46	+1,303	2
92	7,8	3	22	+55	58 00,11	+1,317	4
93	7,4	3	25	+39	59 56,06	+1,836	1
94	7,6	3	28	-18	38 07,64	+1,280	2
95	8,3	3	30	+14	30 40,08	+0,422	3
96	7,7	3	32	+52	45 59,57	+0,409	3
97	8,0	3	34	+30	57 40,50	+0,300	2
99	8,6	3	38	+77	54 10,34	+2,713	1
100	7,8	3	40	+44	43 38,78	+1,836	1
101	8,6	3	44	+84	40 12,30	+1,104	3
102	7,7	3	44	+67	00 48,78	-1,227	1
103	8,0	3	47	-5	13 35,20	+1,303	2
104	7,4	3	52	-15	03 04,67	+0,773	1
105	7,3	3	54	+2	54 49,78	+0,732	2
106	7,5	3	57	+13	45 08,26	-0,237	2
110	7,7	4	08	+2	11 23,62	+2,118	1
112	7,4	4	13	+62	13 26,96	+2,496	2
118	8,2	4	27	+36	00 04,58	+2,880	1
122	7,8	4	37	+80	27 05,08	+2,063	1
124	8,1	4	41	-3	15 30,69	+2,118	1
125	7,6	4	42	+55	33 53,58	+2,874	1
136	8,3	5	07	+39	13 15,00	+2,880	1
140	7,0	5	18	+73	39 39,75	+2,874	1
142	7,9	5	22	+81	01 01,52	+2,580	2
143	7,7	5	23	-12	56 50,53	+3,169	1
144	7,4	5	25	+20	24 10,58	+2,880	1
149	7,6	5	38	-7	41 05,10	+3,169	1
151	7,8	5	43	+50	04 15,12	+2,580	2
152	8,4	5	47	+31	36 23,65	+3,169	1
153	7,4	5	50	+36	07 14,84	+2,880	1
156	7,6	5	55	+24	47 40,77	+2,880	1
157	7,5	5	57	+66	53 57,51	+2,874	1
159	8,1	6	00	+17	40 02,73	+2,880	1
161	8,0	6	06	+27	12 12,65	+3,169	1
162	7,3	6	07	+43	48 42,23	+2,880	1
163	7,4	6	12	+52	12 10,54	+2,580	2
164	7,5	6	14	+39	52 40,52	+2,880	1
165	7,9	6	17	+25	37 54,74	+3,169	1
168	7,6	6	21	+62	43 08,03	+2,274	1
171	8,2	6	27	+32	50 28,45	+3,169	1
176	7,4	6	38	+80	17 37,39	+2,580	2
178	8,0	6	44	+67	34 13,04	+2,874	1
179	7,9	6	46	-14	19 54,42	+3,169	1
182	8,2	6	54	+57	41 43,77	+2,874	1

N_{645}	m	$\alpha_{1950,0}$	$\delta_{1950,0}$	Средняя эпоха наблюдений 1950+	n	
184	7,7	6 ^h	58 ^m	+29 17 18,44	+3,132	2
190	8,1	7	09	-5 21 36,21	+3,169	1
194	7,6	7	21	+56 38 36,76	+2,874	1
199	8,0	7	28	+24 06 23,73	+2,880	1
200	7,4	7	31	+65 12 26,63	+2,874	1
207	8,2	7	46	-12 05 34,90	+3,169	1
209	7,4	7	51	+18 13 56,81	+2,880	1
213	7,8	8	00	+55 37 37,60	+1,244	2
215	7,7	8	07	-6 35 47,26	+3,263	1
223	7,9	8	26	+72 51 39,10	+2,727	2
225	7,2	8	29	+29 29 23,20	+2,199	1
227	7,4	8	33	+49 33 01,34	+1,915	3
229	7,8	8	38	-11 44 55,26	+3,263	1
230	7,9	8	40	+18 19 52,17	+2,181	1
231	8,3	8	42	+38 32 06,45	+2,252	2
232	7,0	8	45	+88 46 14,11	+3,219	1
235	8,4	8	51	-0 25 17,30	+3,263	1
236	7,8	8	54	+56 03 20,20	+2,184	1
237	7,9	8	57	-2 21 08,25	+3,211	1
239	8,0	9	01	+43 38 29,03	+2,270	1
241	7,9	9	03	+15 28 32,40	+2,181	1
244	7,6	9	08	+58 55 02,04	+1,557	3
245	7,6	9	09	-6 43 27,60	+3,258	1
246	8,0	9	13	+78 10 42,39	+3,219	1
249	7,8	9	21	-5 08 46,24	+3,260	1
252	7,9	9	30	+30 47 30,74	+2,279	1
253	8,0	9	32	+8 24 39,00	+2,181	1
254	7,5	9	35	+58 46 27,12	+1,716	2
256	7,9	9	41	+34 57 03,03	+2,763	2
258	8,3	9	47	+74 39 35,73	+2,272	2
259	8,1	9	49	+20 24 00,61	+2,181	1
261	8,0	9	54	-0 13 23,67	+3,263	1
262	8,2	9	55	+29 46 26,02	+3,247	1
264	7,9	9	59	+46 26 20,92	+1,716	2
266	7,4	10	02	+35 14 47,28	+2,602	3
267	7,3	10	06	+82 38 52,73	+3,219	1
268	8,2	10	07	+3 24 29,17	+3,247	1
269	8,1	10	08	+12 17 00,26	+2,181	1
270	7,7	10	10	-8 11 49,55	+3,258	1
274	7,6	10	20	+31 05 25,52	+2,279	1
275	8,2	10	22	+41 09 55,76	+2,768	2
276	8,5	10	25	-0 42 26,68	+3,247	1
277	8,2	10	27	+64 08 02,66	+1,716	2
281	7,9	10	35	+49 28 06,16	+2,252	2
286	7,6	10	47	-8 43 25,55	+3,258	1
291	7,4	11	02	+44 34 17,90	+2,768	1
293	7,3	11	0,5	+59 29 10,72	+1,716	2
294	8,5	11	0,8	+26 18 08,60	+2,763	2
295	8,0	11	10	+53 07 23,19	+1,247	1
301	7,4	11	26	-0 34 23,69	+3,247	1
303	7,2	11	31	-15 46 09,99	+3,260	2
305	7,5	11	34	+62 28 23,88	+1,716	2
307	7,8	11	39	+44 28 20,92	+2,273	1

N_{645}	m	$\alpha_{1950,0}$	$\delta_{1950,0}$	Средняя эпоха наблюдений 1950 +	n	
309	8,1	11 ^h	45 ^m	+32 46 07,95	+3,247	1
310	7,1	11	46	-7 04 57,74	+3,260	2
311	7,7	11	48	+57 55 08,94	+1,247	1
312	7,9	11	50	+13 41 58,14	+2,279	1
314	8,0	11	56	+38 09 18,76	+2,768	2
315	7,3	11	58	+66 24 04,50	+2,702	2
317	8,4	12	00	+29 23 56,90	-0,032	3
318	7,9	12	04	+4 47 29,57	+1,566	4
320	7,6	12	06	+49 27 48,92	+3,255	1
322	7,7	12	09	+64 44 31,19	+0,659	3
323	7,9	12	10	+11 47 39,08	+2,276	2
324	7,2	12	12	+39 37 12,66	+3,255	1
327	8,0	12	18	+83 39 04,78	+1,293	1
328	8,0	12	21	+4 36 30,64	+0,348	1
329	7,9	12	23	+54 51 54,93	+3,255	1
330	7,3	12	27	+14 55 34,42	+2,276	2
334	8,1	12	35	-11 14 32,25	+0,348	1
335	7,5	12	37	+34 26 25,37	+0,342	5
336	8,1	12	38	+74 41 42,50	+1,320	5
337	7,5	12	40	+56 16 23,42	+1,293	1
338	8,1	12	43	-0 32 54,56	+0,842	2
339	7,6	12	46	+61 05 33,58	+1,307	3
341	7,6	12	51	+46 55 39,30	+3,255	1
342	8,1	12	52	+12 58 21,44	+1,364	1
343	7,7	12	53	+78 46 13,94	+0,319	2
345	7,2	12	59	+21 32 16,04	+1,320	2
347	7,6	13	02	+54 07 30,51	+3,255	1
348	8,4	13	04	+28 58 45,44	+0,661	3
349	7,6	13	05	+71 39 37,94	+0,312	1
350	7,4	13	07	-7 23 21,21	+0,348	1
351	7,3	13	09	+41 03 27,68	+3,255	1
353	7,7	13	14	-12 53 43,13	+0,348	1
355	7,8	13	19	+3 06 57,10	+1,782	2
357	8,0	13	23	+66 25 29,51	+0,995	3
358	8,4	13	25	-9 29 06,87	+0,348	1
359	7,9	13	28	+60 36 40,64	+0,800	2
360	7,8	13	29	+26 51 28,64	+0,345	1
361	8,7	13	33	-0 19 20,35	+0,348	4
362	7,5	13	35	+33 59 31,87	+0,335	4
366	7,2	13	41	+80 27 17,62	+1,293	1
367	8,1	13	42	-12 08 03,69	+0,348	1
368	8,0	13	46	+23 41 51,38	+1,320	2
369	8,2	13	48	+55 07 00,56	+0,332	5
370	8,5	13	52	+7 55 15,62	+3,216	1
371	7,4	13	54	+70 10 44,82	+1,320	2
372	7,2	13	56	+46 50 19,17	+3,255	1
373	8,1	13	58	-7 49 46,88	+0,348	1
374	8,0	14	00	+18 13 39,99	+0,312	1
375	7,9	14	04	+38 39 19,42	+3,255	1
376	7,4	14	05	+0 10 51,71	+0,348	1
378	8,0	14	10	+8 14 32,31	+3,216	1
379	8,1	14	13	-15 50 58,91	+0,348	1
380	8,3	14	16	+54 10 12,71	+3,255	1

Продолжение

N_{645}	m	$\alpha_{1950,0}$	$\delta_{1950,0}$	Средняя эпоха наблюдений 1950+	n
381	8,2	14 ^h	17 ^m	+15 09 52,72	2
383	7,8	14	21	+64 30 10,88	4
385	7,6	14	25	+5 54 14,16	1
386	7,8	14	26	+39 50 26,30	1
388	8,2	14	32	+75 29 47,81	1
390	7,9	14	36	+30 13 47,68	3
391	8,1	14	38	+0 19 01,58	1
392	7,6	14	40	+80 00 02,98	2
393	7,5	14	43	+17 00 27,66	1
394	7,9	14	46	-12 54 42,98	1
395	7,3	14	47	+54 26 17,29	1
396	7,2	14	49	+65 51 03,20	2
399	7,3	14	53	+33 01 32,44	4
400	7,4	14	56	+25 14 48,24	1
401	7,9	14	57	-18 25 46,23	1
403	8,3	15	01	+84 13 28,89	2
405	7,8	15	06	+57 50 51,21	4
408	7,3	15	11	+48 45 59,33	1
409	8,2	15	13	+75 39 22,69	1
410	8,2	15	17	+29 44 52,10	1
412	7,6	15	21	+9 04 55,12	1
415	7,4	15	27	+16 21 45,18	2
418	8,1	15	34	-0 43 17,85	1
420	7,3	15	39	+64 49 18,66	2
421	7,4	15	41	-16 42 44,99	1
423	8,3	15	47	+25 36 40,90	1
424	8,7	15	50	+44 28 09,57	1
425	7,7	15	53	+10 26 30,67	1
426	7,5	15	56	+72 32 06,83	3
427	8,3	15	58	+29 05 14,93	2
429	7,4	16	03	+36 39 43,40	4
431	7,5	16	05	+83 32 23,76	5
432	7,6	16	09	+47 56 08,08	3
434	8,0	16	14	+66 30 02,19	3
435	8,1	16	18	+54 54 37,45	1
436	7,3	16	19	+2 59 31,20	1
437	7,6	16	23	+24 10 11,00	2
438	7,6	16	24	+76 33 30,09	1
440	7,6	16	30	-12 27 21,55	1
442	7,4	16	34	+36 08 25,13	3
443	8,4	16	36	-0 44 12,57	1
444	8,0	16	39	+56 15 44,30	2
446	7,9	16	43	+65 19 41,41	4
447	7,4	16	44	+46 08 02,56	2
449	7,6	16	48	+18 09 39,86	1
450	7,6	16	51	-4 05 01,62	1
451	8,2	16	53	+37 23 57,04	2
452	8,0	16	56	-15 59 22,78	1
453	7,4	16	58	+78 02 05,99	4
454	8,0	17	01	+29 32 56,05	3
455	8,0	17	03	+5 14 04,58	1
457	8,2	17	05	+65 00 17,60	1
460	8,3	17	13	+14 57 59,81	1

N_{645}	m	$\alpha_{1950,0}$	$\delta_{1950,0}$	Средняя эпоха наблюдений 1950+	n	
461	7,3	17	16	-2 41 54,37	+1,479	1
462	7,9	17	17	+21 59 35,05	-1,464	1
463	7,4	17	19	+9 47 01,51	+1,468	1
464	8,6	17	25	+72 58 41,46	-1,560	1
465	8,2	17	27	-10 03 30,30	-0,030	2
466	8,4	17	29	+59 43 32,32	+0,821	3
468	8,2	17	33	+43 31 57,30	+0,491	3
470	7,6	17	36	+68 31 03,09	-0,801	4
472	8,2	17	39	+21 09 08,45	-1,464	1
473	8,3	17	43	+39 22 50,62	+0,679	5
474	7,1	17	46	+80 18 06,02	-1,538	1
475	7,6	17	48	+56 50 25,24	+0,002	2
476	8,2	17	50	-2 14 50,63	-0,030	2
477	8,2	17	52	+45 33 39,94	-1,543	5
478	8,0	17	53	-15 40 42,08	+1,463	1
479	8,4	17	56	+14 37 02,27	+1,468	1
480	7,1	17	59	+30 38 40,05	+1,164	3
481	8,0	18	00	+71 38 01,06	-0,955	5
482	7,4	18	02	+42 51 21,92	-1,562	2
484	7,4	18	0,8	+7 37 26,00	+1,468	1
486	8,1	18	11	+0 40 12,02	+1,476	2
488	8,2	18	13	+15 19 37,07	+0,515	3
489	7,6	18	15	+48 20 57,88	-1,566	2
490	7,5	18	18	+52 37 45,37	-1,478	1
491	7,8	18	55	-16 20 57,16	-0,038	2
492	7,4	18	20	+64 10 41,40	+1,468	1
493	7,8	18	21	+38 16 30,68	-0,038	2
494	7,4	18	24	+30 56 12,03	+1,252	4
495	7,6	18	26	+77 31 48,82	-1,538	1
496	7,3	18	27	+15 54 33,53	+0,510	3
497	8,0	18	29	+25 07 36,30	+0,878	5
499	7,3	18	35	+72 22 08,65	-1,558	3
500	8,3	18	37	+55 42 47,39	-1,538	1
502	8,2	18	43	-6 18 21,81	+0,038	2
504	8,6	18	47	+45 15 47,39	-0,763	4
506	8,4	18	51	+33 24 40,20	+1,497	4
508	7,9	18	55	+56 35 40,99	-1,464	1
511	7,9	19	02	+80 22 33,01	+0,486	3
512	8,3	19	04	+4 58 38,34	+1,466	1
514	7,4	19	09	+29 48 20,24	+1,498	2
515	7,9	19	11	-17 59 18,94	+1,463	1
516	8,1	19	13	+73 48 18,19	-1,558	3
517	8,5	19	13	+15 08 00,10	+0,032	2
518	8,6	19	15	-1 06 01,22	-1,527	1
520	7,7	19	17	+5 29 37,22	+1,468	1
521	7,2	19	21	-9 26 11,88	+1,479	1
522	7,8	19	23	+60 14 56,76	+0,821	3
523	8,0	19	24	+36 05 07,42	+0,488	3
525	8,1	19	31	+69 25 08,42	-1,552	2
526	8,5	19	32	+19 56 39,44	+0,512	3
527	8,4	19	34	-4 24 43,82	-1,538	1
531	7,7	19	42	+4 51 29,62	-1,527	1
532	7,8	19	43	+55 43 29,84	+0,821	3

Продолжение

N_{645}	m	$\alpha_{1950,0}$	$\delta_{1950,0}$	Средняя эпоха наблюдений 1950+	n	
533	7,4	19	47	+72 20 18,63	-0,946	3
534	8,3	19	48	+45 01 26,57	-1,527	1
535	8,4	19	51	+11 28 39,66	+1,468	1
536	7,4	19	54	+60 28 54,44	-1,464	1
537	7,1	19	55	-3 41 23,87	-0,030	2
538	8,1	19	59	+30 04 43,67	+0,878	5
540	7,5	20	01	+38 11 07,66	-0,330	4
541	7,6	20	04	+85 37 14,40	-1,033	7
544	7,5	20	12	-11 02 35,68	+0,916	4
545	7,4	20	13	+43 59 05,57	-0,732	5
546	8,2	20	16	+61 58 53,67	+0,192	2
548	8,1	20	18	+21 21 29,63	-0,559	3
549	8,2	20	22	+25 45 12,18	-0,745	2
550	8,0	20	23	+75 52 49,86	-0,785	4
552	7,7	20	27	-5 33 29,58	-0,295	3
553	7,6	20	29	+2 02 58,75	-0,831	4
554	7,3	20	32	+49 36 01,37	-0,288	4
555	8,2	20	35	-17 14 28,35	-0,776	2
556	7,8	20	36	+64 11 04,38	-0,337	5
557	7,7	20	39	+11 23 13,36	+0,164	4
558	7,3	20	41	+72 47 39,01	-0,799	4
559	8,6	20	43	+30 28 30,05	-0,935	3
560	7,5	20	47	+2 14 49,14	-0,831	4
562	8,1	20	52	+53 34 32,60	-0,806	4
563	7,4	20	53	+20 12 32,04	-0,776	2
564	7,8	20	56	+41 09 46,83	-0,352	4
566	8,0	21	00	+28 47 11,80	-1,333	3
567	8,3	21	03	+46 45 45,01	-0,806	4
568	7,6	21	05	-15 49 33,50	-0,972	3
569	7,7	21	09	+22 52 31,00	-0,765	4
570	8,2	21	10	-7 21 46,30	-0,181	1
571	7,5	21	12	+4 28 55,33	-0,276	2
572	8,1	21	13	+10 43 15,50	+0,652	3
573	7,5	21	16	+17 30 35,39	-0,965	3
574	7,6	21	19	+81 32 57,76	-0,329	3
575	7,5	21	20	+64 09 01,15	-0,345	4
576	7,5	21	24	+75 45 17,76	-0,215	3
578	8,2	21	30	+57 18 59,65	-0,840	2
579	8,0	21	32	-9 18 36,16	-0,776	2
580	8,0	21	33	+30 47 06,96	-1,333	3
581	8,2	21	35	-17 05 21,63	-1,372	1
582	8,0	21	37	+1 54 44,08	-0,831	4
583	7,4	21	39	+47 19 01,17	+0,048	3
584	7,7	21	41	+68 49 27,12	-0,324	3
587	8,3	21	49	+14 22 00,01	-0,981	3
588	7,6	21	51	+35 53 26,84	-0,316	4
589	8,2	21	53	+53 56 26,45	-0,612	3
590	7,7	21	54	-19 25 42,29	-1,363	1
591	8,6	21	55	+45 35 03,85	-1,298	1
592	7,2	21	58	+65 11 31,88	-0,799	4
593	7,6	21	59	-1 09 37,52	-0,877	2
594	8,2	22	02	+29 42 58,29	-1,333	2
595	7,5	22	05	-10 19 23,46	-0,972	3

N_{645}	m		$\alpha_{1950,0}$	$\delta_{1950,0}$	Средняя эпоха наблюдений 1950+	n
596	8,2	22	05	+24 46 17,05	—0,189	1
597	7,4	22	10	+54 51 00,38	—0,806	4
598	7,5	22	14	+4 53 38,28	—0,338	4
599	7,2	22	16	+15 17 40,36	—0,559	3
601	8,1	22	19	—6 26 01,22	—0,772	2
602	7,5	22	23	—63 18 58,04	+0,011	3
603	7,4	22	23	+53 33 42,80	—1,021	2
604	7,9	22	27	+75 58 44,82	—0,785	4
605	8,0	22	30	+20 48 19,14	—0,328	3
606	8,2	22	32	—17 52 46,54	—0,972	3
607	8,5	22	35	+44 16 05,81	—1,019	3
608	8,0	22	37	+30 53 05,22	—1,047	4
609	7,3	22	40	+4 42 23,04	—0,831	4
610	8,1	22	40	—7 28 39,44	—1,363	1
611	8,3	22	44	+14 37 04,35	—0,181	1
612	7,5	22	44	—2 03 09,70	—0,646	3
614	7,3	22	49	+66 28 21,00	—0,799	4
615	7,4	22	50	+50 26 20,50	—0,835	2
616	7,4	22	52	+84 46 48,66	—0,607	3
617	7,6	22	55	+39 07 15,83	—0,352	4
618	7,9	22	59	+45 14 27,64	—0,806	3
620	7,6	23	02	— 8 01 29,63	—1,368	2
621	7,5	23	05	+30 10 06,80	—0,958	3
623	8,0	23	11	+66 48 14,04	—0,820	2
625	7,4	23	17	—16 03 21,40	—1,330	2
626	7,4	23	18	+38 18 29,78	—0,352	3
627	8,0	23	20	+75 30 49,78	—0,957	3
628	8,1	23	22	+23 12 18,32	+0,200	2
629	7,5	23	24	+52 53 31,60	—0,612	3
630	8,2	23	24	+43 35 18,30	—0,353	3
631	7,9	23	27	+34 44 18,30	—0,343	2
632	7,9	23	29	—12 13 27,40	—1,368	2
633	7,4	23	32	— 7 57 15,20	+0,356	3
634	7,5	23	34	+55 35 59,92	—1,009	3
635	8,2	23	37	+ 4 31 44,43	—1,388	1
636	7,8	23	40	+85 11 29,05	—0,867	7
637	8,0	23	41	+21 39 46,98	+0,240	2
638	7,4	23	44	+28 06 31,79	+0,164	3
639	7,6	23	45	—19 09 44,54	—1,372	1
640	7,2	23	47	+63 27 56,39	—1,009	3
641	8,0	23	51	+11 43 21,10	—0,324	4
642	8,0	23	52	— 4 56 46,51	—0,321	3
643	8,2	23	53	+45 43 33,75	—1,390	2
645	7,5	23	59	+71 57 29,52	—0,288	4