

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

УД 523.42

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

СПЕКТРАЛЬНЫЙ ХОД КОНТРАСТА ТЕМНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ВЕНЕРЕ

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

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

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

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

новолновой областях (λ 5500 и 8700 Å), приводит к следующим заключениям: неотчетливые образования видны иногда в желтой и ближней ИК-областях, но значительно более низкие по контрасту, чем в УФ-области.

Эти фотографии так же, как и полученные другими наблюдателями (например, [5, 6]), устанавливают, что темные образования подвержены быстрым изменениям с периодичностью 4—5 дней, свидетельствующим об атмосферном происхождении этих деталей.

Фотометрические измерения УФ-изображений Венеры (3650 Å), полученных Ричардсоном в 1954 г. [7], показали, что максимальное отличие в интенсивности темных образований достигает 25 %.

Фотографирование Венеры в КраО АН СССР с помощью телевизионной установки в УФ-й ($\lambda_{\text{эфф}}$ 3700 Å) и красной ($\lambda_{\text{эфф}}$ 7400 Å) областях спектра [8, 9] подтвердило отсутствие видимых образований в красной области. В УФ-области во все дни наблюдений зарегистрированы облака. Их контраст достигает 20—40 %. Наибольший зарегистрированный контраст равен 100 %, наименьший — 6 %. (Контраст в этих работах определялся следующим образом: $\kappa = (B_{\text{max}} - B_{\text{min}})/B_{\text{min}}$, где B_{max} — максимальная яркость изображения Венеры, B_{min} — минимальная яркость в области пятна).

Для характеристики степени видимости темных образований в различных длинах волн интересны наблюдения Бойера [10], фотографировавшего Венеру в $\lambda_{\text{эфф}}$ 4200 Å. Темные образования были видны вполне отчетливо.

Фотографические наблюдения Венеры со светофильтрами, проведенные на АО ХГУ в 1964 и 1969 гг., также подтверждают отсутствие видимых образований в ближней ИК-области (8100 Å) и регистрируют темные образования в УФ-области ($\approx$ 3700 Å) [11, 12]. Измерения изображений заключались в проведении фотометрических разрезов перпендикулярно к экватору интенсивности планеты на разном расстоянии от терминатора. Контрасты темных образований оценивались по формуле $\kappa = (B_{\text{max}} - B_{\text{min}})/B_{\text{max}}$, где B_{max} и B_{min} — максимальная и минимальная яркости на данном разрезе. Средний по диску контраст темного образования на снимке, полученном в 1969 г., равнялся 24 % (измеренные предельные значения — 18—31 %). Средний по всем изображениям 1964 года контраст равнялся 15 % (пределы 6—31 %). В отдельных случаях темные пятна заметны (но меньшие по площади и интенсивности, чем в ультрафиолете) и на синих (λ 4400 Å) photographиях (средний по трем изображениям контраст-7 %). В двух случаях слабые

пятна обнаруживаются и на фотографиях, сделанных через зеленый светофильтр (λ 5270 Å, $\kappa = 2-4\%$). (В работах [11, 12] приведены величины контрастов, определенные иным образом. В первой работе минимальное значение яркости в данном разрезе сравнивалось с абсолютно максимальной яркостью в изображении планеты. Во второй — контрасты измерялись путем сравнения изображений с темным пятном и без такового (или со слабым пятном), полученных в близкие фазы.)

Присутствие темных образований на Венере в синей и зеленой областях, обнаруженное в некоторые даты 1964 г. [12], подтверждается спектральными наблюдениями (λ 3900—6000 Å), проведенными в эти же даты на телескопе АЗТ-7 АО ХГУ со спектрографом АСП-9 (дисперсия 140 Å у H_γ) [13]. Измерения спектрограмм выявили наличие контрастов на диске Венеры вплоть до λ 5500 Å (две даты) и до λ 5000 Å (две даты). В остальных случаях темные образования проявлялись в коротковолновой области спектра ($\lambda < 4400$ Å).

Таким образом, все приведенные данные свидетельствуют о наличии на видимой поверхности Венеры в ультрафиолетовой области спектра темных образований, максимальный контраст которых достигает в среднем 25% [1—12], и об отсутствии таких, за редким исключением [4], в красной и ближней инфракрасной областях [1—3, 8, 9, 11] вплоть до λ 10300 Å [14]. Гораздо более слабые образования бывают видны также в синефиолетовой и синей областях [2, 10, 12, 13]. Очень слабые детали обнаруживаются также иногда в зеленой области [12, 13.]

Выявленная наземными наблюдениями особенность в относительной степени видимости темных образований в различных спектральных областях нашла подтверждение в успешном эксперименте по фотографировании Венеры с помощью телевизионной аппаратуры, установленной на КА Маринер-10 [15]. Фотографирование производилось в ультрафиолетовой ($\lambda_{\text{эфф}}$ 3550 Å), синей ($\lambda_{\text{эфф}}$ 4740 Å) и оранжевой ($\lambda_{\text{эфф}}$ 5780 Å) областях спектра. Предварительная обработка показала, что в синей и оранжевой спектральных областях возможны лишь случайные слабые образования глобального характера.

Фотографические изображения в ультрафиолетовой области выявили интенсивную атмосферную циркуляцию на Венере. Максимальный измеренный контраст больших темных и светлых образований размером около 1000 км равен приблизительно 30%. Различие в яркости деталей среднего масштаба размером в несколько сотен метров достигает 5—10%, наименьшие разреше-

мые темные детали размером 10—20 км отличаются от окружающего фона лишь на 2—5 %.

В настоящей работе приведен результат обработки 11 спектрограмм Венеры в области 3500—5000 Å, полученных автором в 1972 г. в 28-метровом фокусе Кассегрена 70-сантиметрового телескопа АЗТ-8 АО ХГУ с помощью дифракционного спектрографа АСП-21 (дисперсия 30 Å/мм), а также двух аналогичных

спектрограмм, полученных в 1964 г. на телескопе АЗТ-2 ГАО УССР (наблюдатели В. В. Аврамчук и И. К. Коваль), и одной спектрограммы, полученной В. С. Цветковой в 1969 г. на АЗТ-8+АСП-21 АО ХГУ. Некоторые результаты обработки последних трех спектрограмм приведены в работах [16, 17, 18].

Щель спектрографа шириной 0,07 мм (спектральное разрешение 1,5 Å) ориентировалась перпендикулярно к экватору интенсивности планеты вблизи терминатора. На всех описываемых спектрограммах видна темная деталь

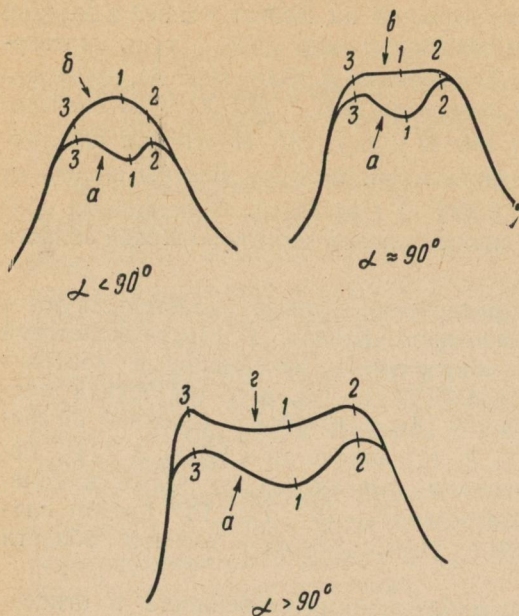


Рис. 1. Вид фотометрических разрезов спектрограмм.

(темная на Венере, светлая на негативе), хорошо выделяющаяся в ультрафиолете и постепенно ослабевающая к длинноволновому концу спектра. Размеры и интенсивность этой детали различны в разные даты.

Обработка спектрограмм заключалась в проведении фотометрических разрезов их поперек направления дисперсии приблизительно в 20 участках спектра. В УФ и синей областях спектра из-за присутствия темной детали разрезы имели характер кривых (рис. 1, а), а в более длинноволновых областях разрезы имели характер кривых (рис. 1, б, в, г) в зависимости от угла фазы α планеты и степени видимости детали. Интенсивность измерялась в области минимальной интенсивности темного пятна (точки 1 на рис. 1) и в максимально интенсивных прилегающих областях (точки 2 и 3 на рис. 1). Положение измеряемых точек

относительно центра разреза и друг друга оставалось постоянным вдоль всего спектра. Как показано в работе [17], такой способ обработки автоматически исключает влияние составляющей атмосферной дисперсии вдоль щели спектрографа. Расчеты показывают, что неучтенная составляющая атмосферной дисперсии, перпендикулярная к щели, может привести в условиях наблюдения Венеры к относительному смещению по диску измеряемых точек, достигающему в области 4900—3500 Å 2", 0"—2,5", что может привести к искажению (в данном случае — уменьшению) величины контраста, достигающему на $\lambda 3500 \text{ Å} \approx 2 - 5\%$.

Величина контраста пятна определялась по формуле $k = (B_{\max} - B_{\min}) \times \times / B_{\max}$, где $B_{\min}$ — интенсивность в точке 1 (рис. 1), $B_{\max}$ — средняя интенсивность для точек 2 и 3.

На рис. 2 приведены определенные таким образом контрасты темных образований в зависимости от длины волны. На рисунке указаны также даты, угол фазы α и ориентация щели спектрографа в момент получения спектрограммы. Положительные значения в коротковолновой области спектра определяют степень видимости темных образований

как деталей диска планеты. Отрицательные же значения в длинноволновом конце спектра, где образования уже не проявляют себя как видимые детали на диске, обусловлены различием яркостей измеряемых точек вследствие хода кривой распределения яркости по диску планеты (в случае угла фазы $\alpha < 90^\circ$, в областях спектра, где пятно не выявляется, $B_1 > B_2$ или B_3 и $k < 0$). Особенности распределения яркости по диску Венеры при углах фазы $\alpha > 90^\circ$ (см. рис. 1) сказываются также на

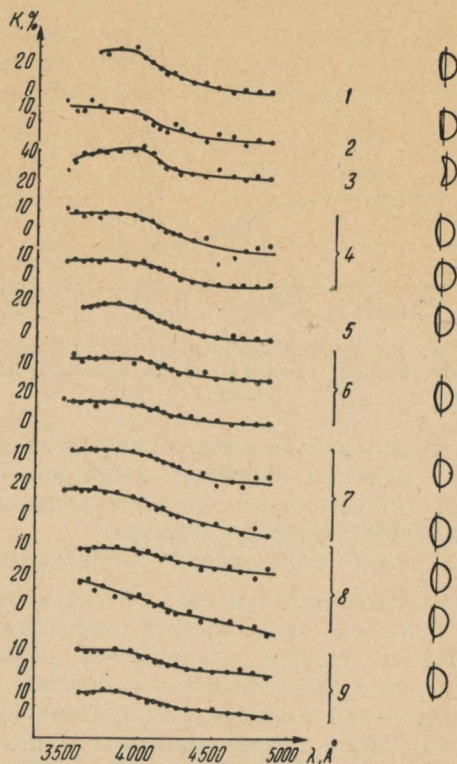


Рис. 2. Спектральный ход контраста темных образований:

1 — 21. I 1969 г. ($\alpha = 86^\circ$); 2 — 29. VIII 1964 г. ($\alpha = 90^\circ$); 3 — 21. IV 1964 г. ($\alpha = 97^\circ$); 4 — 21. IX 1972 г. ($\alpha = 76^\circ$); 5 — 17. IX 1972 г. ($\alpha = 78^\circ$); 6 — 7. IX 1972 г. ($\alpha = 82^\circ$); 7 — 5. III 1972 г. ($\alpha = 70^\circ$); 8 — 4. III 1972 г. ($\alpha = 70^\circ$); 9 — 26. II 1972 г. ($\alpha = 67^\circ$).

аномально больших для приведенного ряда наблюдений значений контраста для 21. IV 1964 г. ($\alpha = 97^\circ$).

На рис. 3 приведена усредненная по 14 спектрам кривая спектральной зависимости контраста темных образований. Соответствующие рис. 2 и 3 данные приведены в табл. 1.

Как видно из рис. 2, 3 и табл. 1, контраст темных образований достигает в области 3500—3900 Å значений 5—20% (иногда до 40%), оставаясь в среднем постоянным в пределах этой области. Затем по мере увеличения длины волны контраст постепенно падает, обращаясь в нуль в среднем в области длины волны 4300 Å.

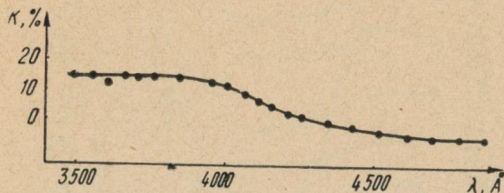


Рис. 3. Спектральный ход контраста темных образований (средний по 14 спектрограммам).

Данные о контрастах деталей на видимой поверхности Венеры по опубликованным работам и по результатам исследований, проведенных на АО ХГУ, сведены в табл. 2.

В заключение можно сделать следующие выводы и замечания.

1. Данные наземных наблюдений свидетельствуют о следующей относительной степени видимости темных образований в различных участках спектра.

Темные образования неоднократно наблюдались в ближней ультрафиолетовой области спектра (3100—3900 Å). Наблюдаемые контрасты в этой области меняются в пределах 5—30% (в отдельных случаях достигаются значения 40% и даже 100%). В синей и зеленой области спектра случаи наблюдения темных образований более редкие, степень их видимости уменьшается с увеличением длины волны. Наблюдаемые контрасты достигают здесь иногда 10%. В красной и ближней инфракрасной областях спектра видимые образования на диске Венеры, за редким исключением очень неотчетливых деталей, не обнаруживаются.

2. Приведенные в п. 1 значения контрастов определены по наземным наблюдениям, обладающим пространственным разрешением, определяемым, в основном, земной атмосферой (в условиях наблюдения Венеры — около 1,0—2,0", что соответствует линейным размерам приблизительно 500—1500 км на поверхности планеты).

3. Величины контрастов определялись по измерениям яркости в точках диска, отстоящих на значительном расстоянии (см. рис. 1). На величины контрастов таких крупных образований оказывает влияние распределение яркости по диску планеты.

4. Величины контрастов образований зависят от их размеров, расположения на диске и подвержены временным изменениям.

Таблица 1

Спектральный ход контраста темных образований на Венере

$\lambda, \text{Å}$	26. II. 72	26. II. 72	4. III. 72	4. III. 72	5. III. 72	5. III. 72	7. IX. 72
4865	-0,059	-0,092	-0,207	-0,069	-0,159	-0,061	0,000
4775	-0,054	-0,064	-0,149	-0,126	-0,091	-0,054	-0,005
4685	-0,040	-0,047	-0,161	-0,086	-0,142	-0,121	0,000
4608	-0,036	-0,054	-0,130	-0,062	-0,109	-0,097	-0,007
4505	0,005	-0,064	-0,110	-0,072	-0,071	-0,107	0,025
4420	-0,011	-0,045	-0,113	-0,067	-0,075	-0,034	0,030
4335	-0,008	-0,038	-0,072	-0,034	-0,060	-0,036	0,041
4250	0,009	-0,007	-0,074	-0,026	-0,025	0,004	0,047
4205	0,009	-0,018	-0,063	0,004	-0,009	0,020	0,058
4150	0,031	0,013	-0,016	-0,009	0,028	0,037	0,065
4110	0,044	0,008	-0,016	0,015	0,020	0,053	0,092
4060	0,035	0,042	0,012	0,033	0,055	0,080	0,090
4002	0,065	0,046	0,051	0,033	0,084	0,086	0,105
3950	0,083	0,075	0,032	0,054	0,100	0,110	0,117
3846	0,101	0,093	0,051	0,076	0,139	0,127	0,151
3755	0,115	0,071	0,112	0,066	0,141	0,119	0,131
3700	0,093	0,079	0,092	0,070	0,155	0,108	0,111
3660	0,085	0,071	0,161	0,046	0,150	0,115	0,129
3600	0,097	0,101	0,138	0,058	0,146	0,114	0,127
3550	—	—	—	—	0,150	0,107	0,137
3485	—	—	—	—	0,143	—	0,149

Продолжение табл. 1

7. IX. 72	17. IX. 72	21. IX. 72	21. IX. 72	21. IV. 64	29. VIII. 64	21. I. 69	Средний контраст
-0,019	-0,050	-0,083	-0,121	0,225	-0,135	0,000	-0,059
-0,028	-0,040	-0,093	-0,137	0,240	-0,120	0,005	-0,051
-0,014	-0,038	-0,088	-0,156	0,210	-0,150	0,020	-0,058
0,000	-0,014	-0,090	-0,208	0,242	-0,096	-0,005	-0,048
0,000	-0,028	-0,079	-0,252	0,289	-0,080	0,032	-0,037
0,038	-0,019	-0,083	-0,075	0,240	-0,130	0,060	-0,020
0,036	0,005	-0,063	-0,091	0,251	-0,087	0,067	-0,006
0,027	0,032	-0,056	-0,053	0,255	-0,050	0,095	0,013
0,049	0,034	-0,002	-0,042	0,290	-0,115	0,120	0,024
0,075	0,067	0,008	-0,034	0,290	-0,075	0,120	0,043
0,071	0,082	0,021	0,004	0,340	-0,040	0,165	0,061
0,103	0,105	0,037	0,040	0,390	-0,020	0,200	0,086
0,127	0,149	0,069	0,055	0,444	0,033	0,226	0,112
0,098	0,157	0,057	0,074	0,418	0,054	0,295	0,123
0,115	0,193	0,080	0,086	0,405	0,060	0,290	0,140
0,133	0,189	0,086	0,100	0,398	0,058	0,250	0,141
0,129	0,178	0,071	0,069	0,402	0,107	0,254	0,137
0,131	0,164	0,078	0,086	0,383	0,144	—	0,134
0,100	0,162	0,063	0,071	0,391	0,072	—	0,126
0,145	—	0,084	0,100	0,324	0,075	—	0,140
—	—	0,063	0,118	0,270	0,140	—	0,147

5. Основные характеристики образований видимой поверхности Венеры по данным наземных наблюдений (величина и ход контрастов по спектру) нашли подтверждение в результатах космического эксперимента «Маринер-10» в части крупномасштабных образований.

Таблица 2

Степень видимости темных образований на Венере
в различных спектральных областях

Спектральная область	Степень видимости, величина контраста	Источник
УФ	30% — крупномасштабные детали размером около 1000 километров	Маринер-10
3100—4000Å	5—10% — среднемасштабные детали размером несколько сотен километров	
» »	2—5% — мелкомасштабные детали размером 10—20 километров	
» »	Детали видны хорошо	
» »	5—25%	
» »	6—100%, средний 27%	
» »	5—25% (иногда 30, 40%), средний 14%	АО ХГУ, спектры
» »	6—31%, средний 16%	АО ХГУ, фотографии через светофильтры
Сине-зеленая	Возможно, случайные слабые образования глобального масштаба	Маринер-10
4000—5500Å	Детали видны	[10]
» »	Очень слабые детали	[2, 4, 14]
» »	Максимум 4%	[2]
» »	2—10%; 17%	АО ХГУ, фотографии через светофильтры
» »	0—10%	АО ХГУ, спектры
Красная и ближняя ИК	Возможно, случайные слабые образования глобального масштаба	Маринер-10
5500—12000Å	Очень редко неотчетливые детали	[4]
» »	Детали не видны	[1, 2, 8, 9, 11, 14], АО ХГУ, фотографии через светофильтры

ЛИТЕРАТУРА

1. *Wright W. H.* Photographs of Venus Made by Infrared and by Violet Light. — Pub. A. S. P., 1927, vol. 39, № 230, p. 220—221.
2. *Ross F. E.* Photographs of Venus. — Ap. J., 1928, vol. 67, p. 57—92.

3. *Kuiper G. P.* Determination of the Pole of Rotation of Venus. — *Ap. J.*, 1954, vol. 120, p. 603—605.
4. *Kuiper G. P., Fountain J. W., Larson S. M., Hartman W. K.* Venus Photographs. — *Comm's of LPL*, 1968, vol 6, № 102, p. 4.
5. *Camichel H.* Observations an Pic-du-Midi. — *Astronomie*, 1960, vol. 74, p. 378—381.
6. *Boyer Ch., Camichel H.* Observations Photographiques de la Planete Venus. — *Ann. Astrophys*, 1961, vol. 24, № 6, p. 3—12.
7. *Richardson R. S.* Observations of Venus Made of Mount Wilson in the Winter of 1954—1955. — *Pub. A. S. P.*, 1955, vol. 67, № 398, p. 304—314.
8. *Прокофьева В. В., Услибер С. И.* Фотографирование ультрафиолетовых облаков Венеры с помощью телевизионной системы. — *АЦ АН СССР*, 1969, № 518, с. 1—2.
9. *Прокофьева В. В., Услибер С. И.* Опыт наблюдений Венеры с помощью телевизионной системы. — *Изв. КрАО*, 1971, т. 43, с. 201—205.
10. *Royer Ch.* Observations á Brazzaville. — *Astronomie*. 1960, vol. 74, p. 376—378.
11. *Стародубцева О. М.* Темное ультрафиолетовое образование на Венере. — *АЦ АН СССР*, 1969, № 540, с. 5—6.
12. *Стародубцева О. М.* О наблюдении темных образований на Венере. — *«Вестник Харьк. ун-та»*, № 28, *Астрономия*, 1967, вып. 3, с. 58—69.
13. *Барабашов Н. П., Белкина И. Л.* Спектрофотометрические исследования большого темного пятна на Венере. — *«Вестник Харьк. ун-та»*, № 8, *Астрономия*, вып. 2, 1965, с. 3—11.
14. *Slipher E. C.* A Photographic Study of the Brighter Planets. — Published in 1964 by Lowell Observatory, 1964, XVI. 125 p.
15. *Murray B. C., Belton M. J. S., Danielson G. E., Davies M. E., Gault D., Hapke B., O'Leary B., Strom R. G., Snomi V., Trask N.* Venus: Atmospheric Motion and Structure From Mariner 10 Pictures, — *Science*, 1974, vol. 183, № 4131, p. 1307—1315.
16. *Аврамчук В. В., Коваль И. К.* Результаты предварительной обработки некоторых спектрограмм Венеры, полученных в апреле 1964 г. — *Сб. «Вопросы астрофизики»*, Киев, «Наукова думка», 1965, с. 47—51.
17. *Стародубцева О. М.* Спектрофотометрическое сравнение отдельных областей Венеры. — *«Вестник Харьк. ун-та»*, № 34, *Астрономия*, вып. 4, 1969, с. 91—102.
18. *Стародубцева О. М.* Спектрофотометрия темного образования на Венере в январе 1969 г. — *«Вестник Харьк. ун-та»*, № 52, *Астрономия*, 1970, вып. 5, с. 49—50.

УДК 532.43

Л. А. АКИМОВ, канд. физ.-мат. наук,
Д. Ф. ЛУПИШКО,
Т. А. ЛУПИШКО

РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ МАРСА В ПРОТИВОСТОЯНИИ 1973 г.

Положительное склонение Марса в 1973 г., а также малое значение угла фазы ($\alpha = 1^\circ, 3$) в противостоянии создали благоприятные условия для измерения интегрального блеска планеты.

Наблюдения проводились на телескопе АЗТ-8 Чугуевской наблюдательной станции ХАО в период с 31 июля по 25 октября 1973 г. Измерения велись в шести узких участках спектра, вырезаемых интерференционными фильтрами, данные по которым

(длина волны в максимуме пропускания λ_{max} , ширина полосы пропускания $\Delta\lambda$, коэффициент пропускания T) приведены ниже:

λ_{max} , нм	366	430	548	630	716	795
$\Delta\lambda$, нм	15	5	12	15	18	14
T , %	18,1	68,0	69,0	71,2	40,2	24,5

В качестве звезд сравнения были выбраны звезды η , σ , ξ спектрального класса $G-K$ из созвездия Рыбы (Pisces), в котором находился Марс. Одновременно они служили и фотометрическими стандартами с известным абсолютным распределением энергии в их спектрах [1]. В этом состоит особенность и преимущество данной методики наблюдений, поскольку отпадает необходимость в обычной привязке звезд сравнения к фотометрическому стандарту.

Регистрация блеска звезд сравнения и Марса проводилась поочередно, причем для исключения случайных ошибок блеск Марса каждый раз записывался дважды. Обработка результатов наблюдений проведена на ЭВМ М-222 ВЦ ХГУ с использованием формулы (см., например, [2])

$$m_{\mathcal{J}} - m_* = -2,5 \lg I_{\mathcal{J}}/I_* + 2,5 [M(z_{\mathcal{J}}) - M(z_*)] \lg p.$$

Здесь $m_{\mathcal{J}} - m_*$ — разность звездных величин Марса и звезды сравнения;

$I_{\mathcal{J}}/I_*$ — наблюдаемые отношения интенсивностей Марса и звезды сравнения;

$M(z_{\mathcal{J}})$, $M(z_*)$ — воздушные массы их в момент наблюдения;

P — коэффициент прозрачности земной атмосферы.

Значение коэффициента прозрачности в момент наблюдения нетрудно определить, зная наблюдаемые отношения интенсивностей звезд сравнения и внеатмосферные отношения. Последние были вычислены следующим образом:

$$\left(\frac{I^i}{I^k}\right)_* = \frac{\int_0^{+\infty} E_*^i(\lambda) T(\lambda) s(\lambda) q(\lambda) d\lambda}{\int_0^{+\infty} E_*^k(\lambda) T(\lambda) s(\lambda) q(\lambda) d\lambda},$$

где $E_*^{i,k}$ — абсолютное распределение энергии в спектрах звезд сравнения [1];

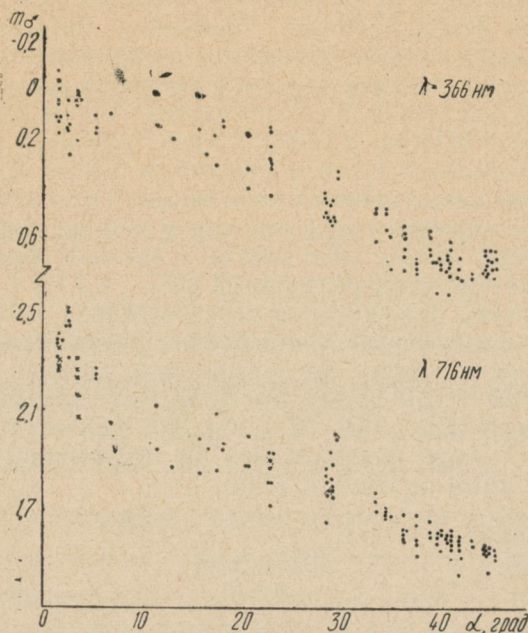
$T(\lambda)$ — кривая спектрального пропускания фильтра;

$s(\lambda)$ — спектральная чувствительность приемника излучения (ФЭУ-79);

$q(\lambda)$ — спектральная прозрачность земной атмосферы.

Три звезды сравнения выбраны для того, чтобы окончательное значение коэффициента прозрачности можно было находить как среднее из трех измеренных.

Для приведения звездных величин Марса к фотометрической системе, в которой представлены результаты предыдущих работ по интегральной фотометрии Марса [3—6], использовались средние данные по абсолютному распределению энергии в спектре Солнца [7], при этом, как и в [3—6], звездная величина Солнца принята равной $m_{\odot} = -26,81$ для всего наблюдаемого участка спектра.



Зависимость блеска Марса от угла фазы в противостояние 1973 года.

Полученные значения интегрального блеска Марса, приведенные к единичным расстояниям от Земли и Солнца, помещены в таблице, где также указаны дата, всемирное время момента наблюдения T_0 и соответствующие ему угол фазы α и долгота центрального меридиана L . В конце таблицы приведены результаты наблюдений Марса в момент противостояния (25, 28 октября 1973 г.), выполненных по нашей просьбе в Институте астрофизики АН Тадж. ССР научным сотрудником Киселевым Н. Н.

В качестве примера на рисунке показаны фазовые кривые блеска Марса для $\lambda 366$ и 716 нм. Крестиками обозначены наблюдения Н. Н. Киселева. Среднеквадратичная ошибка приведенных в таблице значений блеска

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

не превосходит $\pm 0^m, 06$. Здесь σ_1 — точность абсолютного распределения энергии в спектрах звезд-стандартов (3,8—4,8%), а σ_2 — точность относительных измерений величины интегрального блеска ($\leq 0^m, 02$ — $0^m, 03$).

Наши наблюдения предусматривали также измерение величины оппозиционного эффекта Марса [8, 9]. Однако этому помешала пылевая буря, которая наблюдалась на Марсе с июля по первую половину сентября, а затем после некоторого ослабления, к концу октября снова резко усилилась. Измерения фотографий Марса, полученных нами в момент оппозиции, показывают, что контрасты на диске Марса в красном участке спектра ($\lambda_{\text{эфф}} = 628$ нм) 25/26 октября были величиной 3—5 процентов. Таким образом, изменения блеска в области $\alpha = 0$ — 5° (см. рисунок) обусловлены прежде всего пылевой бурей и оценить величину эффекта оппозиции пока не представляется возможным. Подчеркнем, что характер этих изменений такой же, как и в пылевую бурю 1971 г., когда произошло возрастание блеска в красной области спектра и уменьшение — в ультрафиолетовой [6].

Отличительной особенностью противостояния 1973 г. является значительное уменьшение интегрального блеска Марса в коротковолновом участке спектра по сравнению с данными предыдущих противостояний [5, 6]. Ниже для сравнения приводим звездные величины Марса для λ 366 нм и $\alpha = 15^\circ$ (где влияние пылевой бури в 1973 г. было минимальным) по измерениям в 1973 г. и в указанные выше противостояния.

Средние фазовые

кривые [5]

— $0^m, 23$

1971 г. [6]

— $0^m, 18$

1973 г.

+ $0^m, 15$

Несмотря на имеющиеся расхождения в блеске Марса 25 октября 1973 г. по нашим измерениям и по измерениям в Душанбе, которые могут быть объяснены различиями в условиях наблюдений (разное время наблюдений, различные телескопы, приемная аппаратура и т. п.), наблюдения, выполненные Н. Н. Киселевым в Душанбе, также подтверждают значительное понижение интегрального блеска Марса в коротковолновой области спектра в 1973 г. Вполне возможно, что уменьшение интегральной яркости Марса в области коротких длин волн видимого участка спектра вызвано постоянным присутствием пыли в атмосфере Марса в течение всего периода наблюдений 1973 г.

Авторы выражают благодарность сотруднику Института астрофизики АН Тадж. ССР Киселеву Н. Н. за контрольные наблюдения Марса в оппозицию 25, 28 октября 1973 г., а также Макаренко В. А. за помощь в вычислениях.

Дата	T ₀	α	L	λ , нм					
				366	430	548	630	716	795
31 июля	23 ^h 33 ^m ,0	45°4	231°7	0 ^m ,68	0 ^m ,09	-1 ^m ,26	-1 ^m ,44	-1 ^m ,52	-1 ^m ,45
1 августа	0 21 ,5	45 ,4	243 ,5	0 ,72	0 ,04	-1 ,39	-1 ,57	-1 ,62	-1 ,54
»	23 01 ,5	45 ,3	214 ,3	0 ,72	0 ,14	-1 ,19	-1 ,40	-1 ,50	-1 ,44
»	23 36 ,0	45 ,3	222 ,8	0 ,76	0 ,10	-1 ,27	-1 ,47	-1 ,54	-1 ,49
2 августа	0 17 ,5	45 ,3	232 ,9	0 ,65	0 ,00	-1 ,39	-1 ,55	-1 ,61	-1 ,62
5 августа	22 55 ,0	44 ,8	174 ,5	0 ,65	0 ,19	-1 ,21	-1 ,40	-1 ,45	-1 ,43
»	23 36 ,0	44 ,8	184 ,6	0 ,69	0 ,08	-1 ,32	-1 ,50	-1 ,55	-1 ,44
6 августа	0 18 ,5	44 ,8	194 ,8	0 ,69	0 ,04	-1 ,33	-1 ,47	-1 ,53	-1 ,49
»	22 57 ,0	44 ,6	165 ,4	0 ,71	0 ,04	-1 ,30	-1 ,42	-1 ,53	-1 ,50
»	23 36 ,5	44 ,6	175 ,0	0 ,75	0 ,10	-1 ,27	-1 ,45	-1 ,51	-1 ,50
7 августа	0 15 ,0	44 ,6	184 ,4	0 ,74	0 ,07	-1 ,28	-1 ,46	-1 ,53	-1 ,50
»	22 45 ,0	44 ,4	152 ,9	0 ,72	0 ,05	-1 ,26	-1 ,42	-1 ,52	-1 ,47
»	23 32 ,0	44 ,4	164 ,4	0 ,66	0 ,06	-1 ,29	-1 ,45	-1 ,55	-1 ,54
8 августа	0 13 ,0	44 ,4	174 ,3	0 ,74	0 ,09	-1 ,28	-1 ,43	-1 ,51	-1 ,49
»	0 47 ,0	44 ,4	182 ,6	0 ,65	0 ,05	-1 ,29	-1 ,46	-1 ,56	-1 ,57
15 августа	0 05 ,5	43 ,1	105 ,7	0 ,76	0 ,16	-1 ,30	-1 ,48	-1 ,56	-1 ,51
»	0 47 ,0	43 ,1	115 ,8	0 ,74	0 ,12	-1 ,34	-1 ,48	-1 ,58	-1 ,50
20 августа	22 44 ,0	41 ,7	20 ,0	0 ,76	0 ,13	-1 ,23	-1 ,40	-1 ,44	-1 ,35
»	23 17 ,0	41 ,7	37 ,0	0 ,76	0 ,07	-1 ,33	-1 ,50	-1 ,54	-1 ,44
»	23 57 ,0	41 ,7	46 ,7	0 ,68	0 ,02	-1 ,36	-1 ,53	-1 ,57	-1 ,50
21 августа	0 34 ,0	41 ,6	55 ,7	0 ,73	0 ,05	-1 ,34	-1 ,52	-1 ,58	-1 ,52
»	1 10 ,0	41 ,6	64 ,5	0 ,76	0 ,09	-1 ,36	-1 ,53	-1 ,60	-1 ,54
23 августа	22 02 ,0	40 ,8	350 ,4	0 ,83	0 ,16	-1 ,25	-1 ,43	-1 ,50	-1 ,35
»	22 39 ,0	40 ,8	359 ,4	0 ,70	0 ,03	-1 ,31	-1 ,53	-1 ,56	-1 ,44
»	23 13 ,0	40 ,8	7 ,7	0 ,71	0 ,04	-1 ,31	-1 ,53	-1 ,58	-1 ,49
»	23 49 ,0	40 ,8	16 ,5	0 ,75	0 ,03	-1 ,32	-1 ,50	-1 ,55	-1 ,46
24 августа	0 23 ,5	40 ,8	24 ,8	0 ,65	0 ,01	-1 ,35	-1 ,54	-1 ,59	-1 ,53
24 августа	1 00 ,0	40 ,8	33 ,8	0 ,61	-0 ,04	-1 ,38	-1 ,55	-1 ,62	-1 ,59
»	22 22 ,5	40 ,5	346 ,0	0 ,73	0 ,07	-1 ,33	-1 ,50	-1 ,57	-1 ,45
»	22 53 ,0	40 ,5	353 ,4	0 ,68	0 ,02	-1 ,34	-1 ,51	-1 ,59	-1 ,50
»	23 20 ,5	40 ,5	0 ,1	0 ,67	0 ,05	-1 ,29	-1 ,54	-1 ,60	-1 ,53

Дата	T ₀	α	L	λ , нм					
				366	430	548	630	716	795
26 августа	22 ^h 02 ^m ,0	39°,9	322°,2	0 ^m ,68	0 ^m ,08	-1 ^m ,34	-1 ^m ,55	-1 ^m ,54	-1 ^m ,48
»	22 39 ,5	39,9	331 ,3	0 ,72	0 ,02	-1 ,43	-1 ,61	-1 ,60	-1 ,51
»	23 15 ,0	39,9	340 ,0	0 ,71	0 ,02	-1 ,41	-1 ,56	-1 ,62	-1 ,58
27 августа	22 07 ,5	39,6	359 ,1	0 ,82	0 ,13	-1 ,35	-1 ,52	-1 ,59	-1 ,46
»	22 37 ,0	39,6	321 ,3	0 ,69	0 ,03	-1 ,38	-1 ,56	-1 ,61	-1 ,49
»	23 08 ,0	39,6	328 ,8	0 ,69	0 ,04	-1 ,37	-1 ,58	-1 ,57	—
29 августа	21 59 ,5	38,9	293 ,4	0 ,57	0 ,03	-1 ,35	-1 ,51	-1 ,59	-1 ,48
»	22 30 ,0	38,9	300 ,8	0 ,66	0 ,02	-1 ,39	-1 ,56	-1 ,62	-1 ,54
»	23 02 ,5	38,9	308 ,7	0 ,65	0 ,00	-1 ,36	-1 ,55	-1 ,66	-1 ,54
»	23 26 ,0	38,9	314 ,4	0 ,59	—	—	—	—	—
2 сентября	21 53 ,5	37,4	254 ,1	0 ,74	0 ,07	-1 ,28	-1 ,48	-1 ,52	-1 ,41
»	22 27 ,0	37,4	262 ,7	0 ,70	0 ,02	-1 ,35	-1 ,50	-1 ,56	-1 ,46
»	23 10 ,5	37,4	273 ,3	0 ,68	0 ,04	-1 ,34	-1 ,52	-1 ,58	-1 ,52
»	23 56 ,0	37,4	284 ,4	0 ,72	0 ,05	-1 ,39	-1 ,54	-1 ,64	-1 ,54
3 сентября	0 31 ,5	37,4	293 ,0	—	0 ,02	-1 ,41	-1 ,59	-1 ,68	-1 ,64
5 сентября	21 26 ,0	36,2	220 ,0	0 ,73	0 ,07	-1 ,30	-1 ,49	-1 ,58	-1 ,47
»	22 01 ,0	36,2	228 ,6	0 ,67	0 ,02	-1 ,36	-1 ,52	-1 ,60	-1 ,48
»	22 43 ,0	36,2	238 ,7	0 ,64	-0 ,07	-1 ,38	-1 ,54	-1 ,59	-1 ,50
»	23 25 ,5	36,2	249 ,0	0 ,60	0 ,00	-1 ,36	-1 ,55	-1 ,62	-1 ,51
6 сентября	0 06 ,0	36,2	258 ,9	0 ,58	-0 ,03	-1 ,40	-1 ,59	-1 ,62	-1 ,57
»	0 50 ,5	36,2	269 ,8	0 ,55	-0 ,06	-1 ,40	-1 ,67	-1 ,69	-1 ,62
8 сентября	21 43 ,0	34,9	196 ,3	0 ,73	0 ,06	-1 ,36	-1 ,55	-1 ,59	-1 ,51
»	22 22 ,0	34,9	205 ,7	0 ,59	-0 ,06	-1 ,46	-1 ,64	-1 ,68	-1 ,56
9 сентября	23 08 ,0	34,4	207 ,7	0 ,69	-0 ,16	-1 ,41	-1 ,61	-1 ,67	-1 ,55
10 сентября	0 05 ,5	34,4	221 ,7	0 ,57	-0 ,10	-1 ,45	-1 ,60	-1 ,69	-1 ,63
»	0 44 ,0	34,4	231 ,1	0 ,50	-0 ,11	-1 ,46	-1 ,65	-1 ,70	-1 ,63
»	1 26 ,0	34,3	241 ,3	0 ,48	-0 ,13	-1 ,46	-1 ,64	-1 ,71	-1 ,65
11 сентября	23 42 ,5	33,4	197 ,6	0 ,61	-0 ,08	-1 ,46	-1 ,65	-1 ,70	-1 ,65
12 сентября	0 24 ,5	33,4	207 ,9	0 ,48	-0 ,14	-1 ,54	-1 ,71	-1 ,77	-1 ,69
»	1 20 ,5	33,4	221 ,5	0 ,49	-0 ,16	-1 ,54	-1 ,70	-1 ,74	-1 ,71

Дата	T_0	α	L	λ , нм					
				366	430	548	630	716	795
19 сентября	0 ^h 38 ^m ,5	29° 5	147° 1	0 ^m ,36	-0 ^m ,26	-1 ^m ,70	-1 ^m ,86	-2 ^m ,00	-1 ^m ,90
"	1 25,0	29,5	158,4	0,33	-0,31	-1,68	-1,82	-1,98	-1,92
"	20 15,0	29,0	73,8	0,52	-0,06	-1,51	-1,70	-1,75	-1,60
"	20 51,0	29,0	82,6	0,54	-0,14	-1,56	-1,73	-1,79	-1,65
"	21 26,0	29,0	91,1	0,53	-0,13	-1,53	-1,71	-1,78	-1,66
"	22 04,0	29,0	100,4	0,45	-0,16	-1,58	-1,76	-1,83	-1,76
"	22 50,5	28,9	111,7	0,53	-0,20	-1,66	-1,79	-1,89	-1,77
"	23 29,5	28,9	121,2	0,46	-0,20	-1,67	-1,84	-1,93	-1,82
20 сентября	20 16,5	28,4	65,1	0,51	-0,09	-1,42	-1,58	-1,65	-1,51
"	21 00,0	28,4	75,7	0,45	-0,14	-1,55	-1,76	-1,76	-1,65
"	21 43,0	28,4	86,2	0,50	-0,11	-1,54	-1,63	-1,81	-1,66
"	22 17,0	28,3	94,4	0,43	-0,16	-1,58	-1,78	-1,84	-1,74
"	22 57,0	28,3	104,2	0,42	-0,15	-1,61	-1,80	-1,87	-1,80
28 сентября	20 30,0	22,9	356,0	0,43	-0,12	-1,48	-1,66	-1,72	-1,55
"	21 07,0	22,9	5,1	0,32	-0,22	-1,56	-1,77	-1,81	-1,67
"	21 40,5	22,9	13,2	0,30	-0,24	-1,55	-1,74	-1,81	-1,67
"	23 05,0	22,8	33,8	0,28	-0,26	-1,62	-1,82	-1,87	-1,77
"	23 43,0	22,8	43,1	0,23	-0,32	-1,67	-1,86	-1,90	-1,83
29 сентября	0 19,0	22,8	51,9	0,15	-0,35	-1,71	-1,86	-1,93	-1,89
"	0 59,5	22,8	61,7	0,17	-0,35	-1,70	-1,86	-1,93	-1,86
1 октября	20 53,5	20,6	334,9	0,32	-0,23	-1,62	-1,80	-1,88	-1,77
"	21 30,0	20,6	343,8	0,18	-0,37	-1,71	-1,94	-2,00	-1,90
"	23 51,5	20,5	18,4	0,40	-0,13	-1,55	-1,71	-1,83	-1,75
5 октября	2 15,5	18,1	26,6	0,15	-0,35	-1,67	-1,85	-1,94	-1,86
"	3 10,5	18,0	40,0	0,13	-0,38	-1,68	-1,83	-1,97	-1,92
"	21 00,0	17,4	300,8	0,31	-0,25	-1,61	-1,81	-1,86	-1,76
6 октября	1 34,5	17,3	7,7	0,19	-0,32	-1,81	-1,99	-2,09	-1,99
"	21 44,5	16,6	302,7	0,26	-0,33	-1,68	-1,88	-1,95	-1,79
7 октября	19 47,0	15,8	265,2	0,16	-0,24	-1,59	-1,81	-1,85	-1,68
"	20 34,0	15,8	276,6	0,03	-0,39	-1,73	-1,92	-1,99	-1,88

Дата	T ₀	α	L	λ , нм					
				366	430	548	630	716	795
10 октября	22 ^h 48 ^m ,0	13°,1	282°,8	0 ^m ,20	-0 ^m ,30	-1 ^m ,61	-1 ^m ,77	-1 ^m ,87	-1 ^m ,85
12 октября	19 54 ,5	11 ,4	222 ,8	0 ,15	-0 ,40	-1 ,67	-1 ,90	-1 ,94	-1 ,84
13 октября	0 40 ,5	11 ,3	292 ,5	0 ,02	-0 ,53	-1 ,90	-1 ,97	-2 ,12	-2 ,02
17 октября	23 37 ,0	6 ,8	232 ,9	0 ,10	-0 ,39	-1 ,80	-1 ,96	-2 ,05	-1 ,99
19 октября	19 41 ,5	5 ,2	157 ,9	0 ,18	-0 ,57	-2 ,00	-2 ,15	-2 ,23	-2 ,11
»	20 26 ,0	5 ,1	168 ,8	0 ,16	-0 ,59	-2 ,06	-2 ,21	-2 ,27	-2 ,11
»	21 17 ,5	5 ,1	181 ,4	0 ,11	-0 ,61	-2 ,08	-2 ,18	-2 ,24	-2 ,08
21 октября	18 26 ,0	3 ,5	121 ,9	0 ,22	-0 ,57	-2 ,02	-2 ,17	-2 ,23	-2 ,12
22 октября	18 46 ,0	2 ,6	118 ,0	0 ,27	-0 ,63	-2 ,08	-2 ,27	-2 ,31	-2 ,03
»	19 22 ,5	2 ,6	126 ,9	0 ,15	-0 ,65	-2 ,23	-2 ,37	-2 ,46	-2 ,20
»	20 15 ,0	2 ,5	139 ,7	0 ,16	-0 ,58	-2 ,17	-2 ,32	-2 ,44	-2 ,22
»	20 33 ,5	2 ,5	144 ,2	0 ,17	-0 ,64	-2 ,26	-2 ,40	-2 ,51	-2 ,28
»	22 35 ,5	2 ,5	174 ,0	0 ,05	-0 ,73	-2 ,23	-2 ,38	-2 ,50	-2 ,15
»	23 15 ,0	2 ,4	183 ,6	0 ,11	-0 ,68	-2 ,24	-2 ,39	-2 ,44	-2 ,22
25 октября	18 06 ,5	1 ,6	82 ,0	0 ,18	-0 ,65	-2 ,02	-2 ,23	-2 ,31	-2 ,11
»	18 40 ,0	1 ,6	90 ,2	0 ,12	-0 ,70	-2 ,12	-2 ,29	-2 ,38	-2 ,24
»	19 05 ,0	1 ,6	96 ,3	0 ,13	-0 ,67	-2 ,12	-2 ,29	-2 ,37	-2 ,25
»	19 40 ,0	1 ,6	104 ,8	0 ,12	-0 ,74	-2 ,13	-2 ,29	-2 ,38	-2 ,23
(Душанбе)	18 04 ,0	1 ,6	81 ,4	0 ,05	—	—	—	-2 ,26	—
»	18 48 ,0	1 ,6	92 ,1	0 ,06	—	—	—	-2 ,27	—
»	19 33 ,0	1 ,6	103 ,1	0 ,00	—	—	—	-2 ,30	—
»	20 26 ,0	1 ,6	116 ,0	-0 ,07	—	—	—	-2 ,35	—
»	21 27 ,0	1 ,6	130 ,9	-0 ,03	—	—	—	-2 ,41	—
28 октября	17 22 ,5	3 ,5	44 ,8	0 ,07	—	—	—	-2 ,07	—
(Душанбе)	18 07 ,0	3 ,5	55 ,7	0 ,05	—	—	—	-2 ,23	—
»	19 04 ,0	3 ,5	69 ,6	0 ,02	—	—	—	-2 ,16	—
»	19 58 ,0	3 ,6	82 ,8	0 ,02	—	—	—	-2 ,26	—
»	20 53 ,5	3 ,6	96 ,3	0 ,05	—	—	—	-2 ,31	—

ЛИТЕРАТУРА

1. Спек трюфотометрические стандарты для наблюдений планет и комет и некоторые вопросы звездной спектрофотометрии. — «Тр. астрофизич. ин-та АН Каз. ССР», 1972, т. XXII, с. 3—62. (Авт.: А. В. Харитонов, Е. А. Глушкова, Л. Н. Князева и др.).
2. Михайлов А. А. Курс астрофизики и звездной астрономии, т. I. М., «Наука», 1973, 608 с.
3. W. M. Irvine and all. Multicolor Photoelectric Photometry of the Brighter Planets. II. Observations from Le Houga Observatory. «Astron. Journal». 1968. Vol. 73, p. 251—264.
4. W. M. Irvine and all. Multicolor Photoelectric Photometry of the Brighter Planets III. Observations from Boyden Observatory. «Astron. J.». 1968, Vol. 73, 807 p.
5. 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.).
6. Александров Ю. В., Лупишко Д. Ф., Лупишко Т. А. Фазовая зависимость блеска Марса в противостояние 1971 г. — «Вестник Харьк. ун-та», 1973, № 99, Астрономия, вып. 8, с. 3—9.
7. Макарова Е. А., Харитонов А. В. Средние данные об абсолютном распределении энергии в спектре Солнца в области от $1800 \text{ \AA}$ до 4 мм. Солнечная постоянная. — «Астроном. журнал», 1968, т. 45, вып. 4, с. 752—764.
8. O'Leary B. T. The opposition effect of Mars. — «Astrophys. Journal», L 147—L149, 1967, v. 149, p. 3—11.
9. Коваль И. К. Фазовая зависимость блеска Марса. — «Астроном. журнал», 1968, т. 45, с. 841—849.

УДК 523.45

А. М. ГРЕЦКИЙ,
В. Н. ДУДИНОВ, канд. физ.-мат. наук

ПОВЫШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА СПЕКТРОГРАММАХ САТУРНА МЕТОДАМИ ЧИСЛЕННОЙ ЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ. I

Введение

Ограничение пространственного разрешения при астрономических наблюдениях с телескопами достаточно большой апертуры происходит, как известно, в основном за счет атмосферной турбулентности. В настоящее время разработан ряд современных методов обработки экспериментальных данных, которые позволяют при достаточно общих предположениях существенно повысить «четкость» изображения.

В данной работе сделана попытка применить теорию линейной фильтрации к результатам измерений спектрограмм Сатурна с целью получить фотометрическую информацию о различных зонах системы его колец.

Известно, что для линейных пространственно-инвариантных приборов, каким, в частности, является телескоп, соотношение «вход — выход» записывается в виде интеграла суперпозиции,

т. е. монохроматическое распределение яркости по диску Сатурна вдоль щели спектрографа $F(x)$ связано с истинным распределением $f(x)$ уравнением:

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

где $N(x)$ — погрешность измерения;
 $g(x - x')$ — функция рассеяния точки.

При астрономических наблюдениях $g(x - x')$ представляет собой распределение яркости в изображении звезды, которое при достаточно большом времени усреднения можно описать функцией Гаусса [1]

$$g(x - x') = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-x')^2}{2\sigma^2}}. \quad (2)$$

Естественно, что при наличии шума $N(x)$, обусловленного не только зернистостью фотоэмульсии, но и флуктуацией $g(x)$ относительно его среднего значения, восстановление точного вида входного сигнала является неразрешимой задачей. Применение методов линейной фильтрации позволяет получить значение некой функции $\varphi(x)$, которая будет оптимально близкой (в некотором смысле) к исходной функции $f(x)$. Как известно [2], выбор критерия минимума среднеквадратичного отклонения между $f(x)$ и $\varphi(x)$ приводит к Винеровскому фильтру. Можно показать [1], что в рассматриваемом случае этот фильтр в частотном представлении имеет вид

$$D(\omega) = \frac{e^{-\frac{\omega^2 \sigma^2}{2}}}{e^{-\omega^2 \sigma^2} + \frac{\gamma^2(\omega)}{s^2(\omega)}}. \quad (3)$$

Здесь ω — круговая частота; σ — дисперсия, характеризующая атмосферную турбулентность; $\gamma^2(\omega)$ — спектральная плотность шума; $s^2(\omega)$ — спектральная плотность сигнала.

Таким образом, задача сводится к вычислению интеграла вида

$$\varphi(x) = \int F(x') D(x - x') dx', \quad (4)$$

где $D(x - x')$ — обратное преобразование Фурье от $D(\omega)$.

Наблюдательный материал и измерения

В качестве объекта «восстановления» были использованы результаты измерений спектрограмм Сатурна, полученных А. М. Грецким в 1970 — 1972 гг.

Преимущество спектральных данных заключается, прежде всего, в большом времени усреднения: экспозиция составляла $45^m - 1^h$. Это позволяет достаточно уверенно считать среднее по времени распределение яркости равным среднему по реализациям.

Наблюдения проводились на телескопе АЗТ-8 наблюдательной станции АОХГУ в 28-м фокусе со спектрографом АСП-21 (дисперсия 30 Å/мм). Щель спектрографа во время наблюдений была постоянной и равной 0,238 мм (спектральное разрешение 5 Å).

Поскольку по конструктивным особенностям прибора весь исследуемый диапазон длин волн $\lambda\lambda$ 4000—6400 Å не умещался на одной пластинке, «синяя» и «красная» части спектра получались раздельно, причем область вблизи $H_{\beta} \approx 200$ Å присутствовала на обеих.

В целях уменьшения влияния атмосферной дисперсии при получении спектрограмм в области 4000—4900 Å при гидрировании использовался синий светофильтр. Гидрирование в течение всей экспозиции производилось достаточно надежно.

Всего за два сезона наблюдений было получено около 140 спектрограмм, причем в сезон 1971—1972 гг. параллельно производились фотоэлектрические наблюдения диска Сатурна на 150 мм гиде телескопа [3].

Щель спектрографа в подавляющем большинстве случаев ориентировалась по большой оси колец. Несколько спектрограмм было получено при расположении щели по центральному меридиану Сатурна.

Калибровка осуществлялась посредством девятиступенчатого ослабителя, освещаемого лампой накаливания. Ступенчатый ослабитель был исследован на селективность по методу переменной щели.

Измерения производились на модифицированном Л. А. Акимовым микрофотометре МФ-2.

Модификация заключается в следующем:

- 1) селеновый фотоэлемент заменен на фотоумножитель ФЭУ-68;
- 2) установлен второй микрометрический винт;
- 3) основной микрометрический винт сочленен с синхронным электродвигателем;
- 4) сигнал с ФЭУ поступает на вход цифрового вольтметра ВК-7/10-1;

5) показания вольтметра регистрируются цифropечатающей машиной ЦПМ-1, запуск которой осуществляется при помощи системы триггеров.

Спектрограммы промерялись поперек дисперсии в следующих длинах волн: $\lambda\lambda = 4016; 4180; 4278; 4390; 4507; 4631; 4725; 4898; 5056; 5135,5; 5245; 5386; 5550; 5673; 5768; 5872; 6001; 6375$ Å.

Причем $\lambda = 4898$ Å промерялась как на «синей», так и на «красной» пластинках. Всего было получено 1012 разрезов. Измерения велись в режиме пропускания. Ширина щели микрофотометра была равна 1,33 мм (0,63" на Сатурне), высота — 1 мм. Малая высота щели определялась большим наклоном линий в

спектре, вызываемым доплеровским смещением. Режим работы системы триггеров был выбран таким образом, что отсчеты производились через $0,5^s$ времени. С учетом скорости вращения вала двигателя отсчеты на спектрограмме получались на расстоянии, соответствующем $0,47''$ на небесной сфере.

На каждом разрезе выбиралось по 161 точке, причем 80-я приблизительно соответствовала центру диска Сатурна. Этого числа более чем достаточно ($75'', 2$), чтобы все изображение системы Сатурна ($45''$), с учетом замытия атмосферой, полностью перекрывалось.

Численная фильтрация результатов измерений

Численная фильтрация результатов измерений производилась на ЦВМ М-220 вычислительного центра ХГУ по алгоритму, расширенная схема которого приводится ниже.

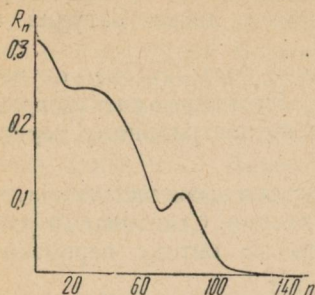


Рис. 1. Вид автокорреляционной функции измеренного изображения.

1) Перевод пропусканий в интенсивности.

Перевод пропусканий P_i в интенсивности F_i , $i = 0, 1, 2 \dots 160$ производился линейной интерполяцией по характеристической кривой. Интервал линейной аппроксимации характеристики соответствовал 5% от $P_{\max}$ для $0,1 P_{\max} \leq P_i \leq P_{\max}$ и 2,5% для $0 \leq P_i \leq 0,1 P_{\max}$. Полученное распределение яркости одновременно нормировалось на единицу в центре диска.

2) Оценка спектральной плотности.

Энергетический (Винеровский) спектр определялся из соотношения

$$s^2(\omega) = \int_{-T}^T R(\tau) O(\tau) \cos \omega \tau d\tau, \quad (5)$$

где s^2 — спектральная плотность;

$R(\tau)$ — автокорреляционная функция;

$O(\tau)$ — «окно данных», т. е. обратное преобразование Фурье от спектрального окна;

ω — круговая частота.

Автокорреляционная функция оценивалась по формуле

$$R_n = \frac{1}{160} \sum_{i=0}^{160-n} m F_i F_{i+n}, \quad (6)$$

$$n = 0, 1, 2 \dots 160; R_n = R_{-n}.$$

Вид функций R_n приведен на рис. 1. После этого определялась сглаженная оценка Винеровского спектра

$$s_k^2 = \frac{\sum_{n=0}^{160} m \left(\frac{1}{\pi} \sin \frac{n\pi}{160} + \left(1 - \frac{n}{160} \right) \cos \frac{n\pi}{160} \right) R_n \cos \frac{k\pi}{80} n}{s_0^2} \quad (7)$$

$$k = 0, 1, 2 \dots 80$$

$$s_k^2 = s_{-k}^2$$

$$m = \begin{cases} \frac{1}{2} & n = 0; 160 \\ 1 & n = 1, 2 \dots 159 \end{cases}$$

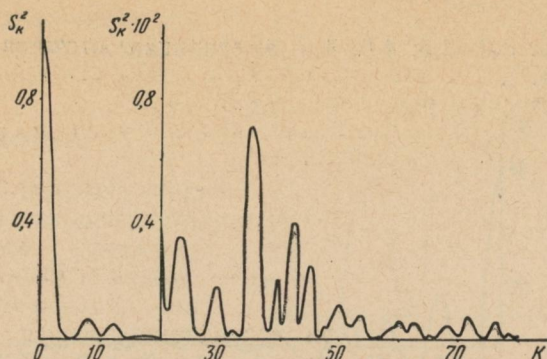


Рис. 2. Винеровский спектр изображения Сатурна.

Число частот выбрано равным ± 80 по известным соображениям сохранения информации, а ограничение частоты величиной π непосредственно вытекает из определения частоты Найквиста: $f = \frac{1}{2\Delta t} = \frac{1}{2} = \frac{\omega}{2\pi}$. В данном случае граничная частота соответствует пространственной частоте 10 мм^{-1} .

В качестве «окна данных» мы выбрали окно Папулиса [4], которое обеспечивает спектральные оценки с минимальным смещением и дисперсией.

Вид функции s_k^2 приведен на рис. 2.

3) Определение спектральной плотности шума.

Оценкой спектральной плотности шума γ^2 мы выбрали среднее значение спектральной плотности s_k^2 в диапазоне k от 60 до 80:

$$\gamma^2 = \frac{1}{21} \sum_{k=60}^{80} s_k^2, \quad (8)$$

где $k = 60$ соответствует приблизительно размеру окна микрофотометра.

4) Построение восстанавливающего фильтра в координатном виде:

$$D_i = \frac{1}{40} \sum_{k=0}^{80} m \frac{e^{\frac{-(\frac{k\pi}{80}\sigma)^2}{2}}}{e^{-\frac{(\frac{k\pi}{80}\sigma)^2}{2}} + \frac{\gamma^2}{s_k^2}} \cos \frac{\pi k}{80} i \quad (9)$$

$$i = 0, 1, 2 \dots 80;$$

$$D_i = D_{-i} \quad \sum_{i=-80}^{80} D_i \approx 1;$$

$$m = \begin{cases} \frac{1}{2} & k = 0, 80 \\ 1 & k = 1, 2 \dots 79 \end{cases}$$

$\sigma = 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5$ (в единицах отсчетов, соответствующих $0,47''$).

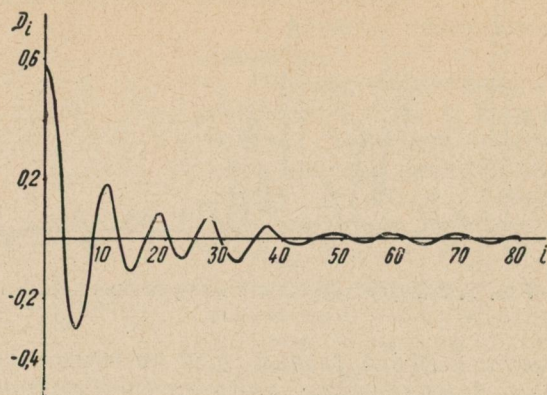


Рис. 3. Вид восстанавливающего фильтра при значении параметра 30.

Вид фильтра D_i при $\sigma = 3,0$ изображен на рис. 3.

5) Построение восстановленного изображения.

Искомое изображение, как указано во введении, определяется сверткой измеренного распределения яркости с восстанавливающим фильтром:

$$\varphi_l = \sum_{i=0}^{160} m F_i D_{l-i} \quad (10)$$

$$l = 0, 1, 2 \dots 160$$

$$\Delta l = \Delta i$$

$$m = \begin{cases} \frac{1}{2} & i = 0, 160 \\ 1 & i = 1, 2, \dots 159. \end{cases}$$

6) Выбор оптимального восстановления (выбор параметра σ).

Оптимальное восстановление определялось по минимуму среднеквадратичного отклонения между сверткой восстановленного изображения с функцией Гаусса и нашими измерениями:

$$\sum_{i=0}^{160} \left(F_i - \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \sum_{l=0}^{160} m_{\varphi l} e^{-\frac{(l-i)^2}{2\sigma^2}} \right)^2 = \min, \quad (11)$$

$$\sigma = 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5. \quad m = \begin{cases} \frac{1}{2} l = 0, 160 \\ 1 \quad l = 1, 2 \dots 159. \end{cases}$$

На рис. 4 представлено восстановленное и исходное распределения яркости по диску Сатурна для $\lambda 550m\mu$.

Заключение

Можно показать [1], что применение линейного Винеровского фильтра, использованного в данной работе, дает наиболее вероятное распределение яркости $\varphi(x)$ лишь в предположении, что $N(x)$ и $f(x)$ в (1) являются соответствующими реализациями двух независимых стационарных гауссовых процессов. Однако изображение планеты нельзя считать ни стационарным процессом, так как яркость изображения отлична от нуля лишь в конечной области, ни гауссовым, поскольку яркость является положительно определенной величиной. В этом случае применение Винеровского фильтра гарантирует лишь минимум среднеквадратичного отклонения между $f(x)$ и $\varphi(x)$ по сравнению с любым другим линейным фильтром. Величина среднеквадратичного отклонения между $f(x)$ и $\varphi(x)$ может быть посчитана путем суммирования квадратов отклонения компонент Фурье:

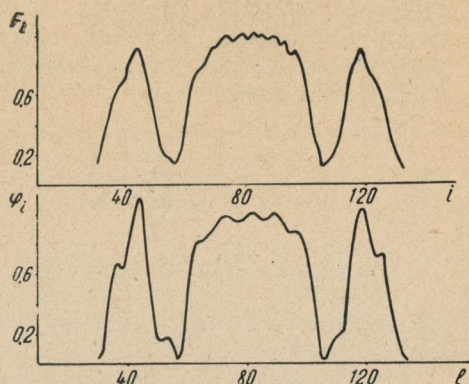


Рис. 4. Сравнение исходного и восстановленного распределений яркости.

$$\begin{aligned} \int |f(x) - \varphi(x)|^2 dx &= \int |f(\omega) - \varphi(\omega)|^2 d\omega = \\ &= \int \left| f(\omega) - f(\omega) g(\omega) \cdot \frac{g^*(\omega)}{g(\omega) g^*(\omega) + \frac{\gamma^2(\omega)}{s^2(\omega)}} \right|^2 d\omega = \int \frac{\gamma^2(\omega) d\omega}{g(\omega) g^*(\omega) + \frac{\gamma^2(\omega)}{s^2(\omega)}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Эта величина определяется спектральными свойствами сигнала вне области, где $g(\omega) = 0$, и отношением $\frac{\gamma^2(\omega)}{s^2(\omega)}$ внутри области, где $g(\omega) \neq 0$. Как и следовало ожидать, эта величина может

быть сколь угодно большой, поскольку нет основания считать спектральную плотность сигнала равной нулю при тех значениях ω , при которых $g(\omega)$ практически обращается в нуль. Поэтому имеет смысл определять величину среднеквадратичного отклонения лишь между восстановленной и истинной яркостью, пропущенной через фильтр $g(\omega) \cdot D(\omega)$.

Легко видеть, что при заданной спектральной плотности шума $\gamma^2(\omega)$ среднеквадратичная погрешность для различных сигналов будет тем меньше, чем меньше спектральная плотность сигнала $s^2(\omega)$ внутри полосы $g(\omega)D(\omega)$, т. е. чем более гладкой является искомая функция. Спектральную плотность сигнала можно уменьшить, например, путем вычитания детерминированной низкочастотной составляющей. Тогда уравнение (1) можно представить в виде

$$F(x) - F_0(x) = F(x) - F(x) * e^{\frac{-x^2}{2\sigma_0^2}} = \\ = f(x) * e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}} + N(x) - f(x) * e^{\frac{-x^2}{2(\sigma_0^2 + \sigma^2)}} - N(x) * e^{\frac{-x^2}{2\sigma_0^2}}, \quad (13)$$

где $*$ обозначает операцию свертки, а σ_0 — произвольный параметр, значение которого $\sigma_0 \geq \sigma$.

Линейная фильтрация разности

$$[F(x) - F_0(x)] * D(x) = [f(x) * e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}} + N(x)] * D(x) - \\ - F(x) * e^{\frac{-x^2}{2(\sigma_0^2 - \sigma^2)}} \quad (14)$$

дает возможность найти искомое значение

$$\varphi(x) = [F(x) - F_0(x)] * D(x) + F(x) * e^{\frac{-x^2}{2(\sigma_0^2 - \sigma^2)}}. \quad (15)$$

Применение линейного Винеровского фильтра в данном случае можно считать более оправданным, поскольку разность $F(x) - F_0(x)$ является знакопеременной функцией с нулевым средним значением и может быть произвольно доопределена на любом расстоянии от края диска планеты. Величина же среднеквадратичной ошибки в этом случае при удачном выборе параметра σ_0 должна оказаться меньше, чем в предыдущем. Заметим, что применение такого алгоритма вычислений требует оценки лишь среднего значения отношения $\frac{\gamma^2}{s^2}$ сразу для всего массива данных, поскольку влияние на вид $D(\omega)$ наиболее мощных низкочастотных составляющих спектра сигнала, зависящих от масштаба снимка, скомпенсировано вычитанием $F_0(x)$.

В настоящее время проводится анализ численных результатов для выбора окончательной схемы вычислений, которая наилучшим образом будет соответствовать решению задачи массовой обработки спектров с целью получить фазовые кривые колец А и В Сатурна.

В заключение авторы выражают благодарность программисту Бороденко Е. М. за отладку программ вычислений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дудинов В. Н. О возможности учета погрешностей, вызванных замытием изображений планет. — «Астроном. журнал», 1966, т. 5, с. 1064—1073.
2. Боде Г., Шеннон К. Линейная минимально квадратичная теория сглаживания и предсказания. Теория информации и ее приложения. М., Физматгиз, 1959, с. 417—425.
3. Грецкий А. М. Фотоэлектрическая фотометрия центра диска Сатурна. — «Вестник ХГУ. Астрономия», № 99, вып. 8, 1973, с. 64—67.
4. Papoulis Athanasios. Minimum — bias windows for highresolution spectral estimates. IEEE Trans. Inform. Theory. 1973, v. 19, N 1, p. 9—12.

УДК 523.3

Н. Н. ЕВСЮКОВ

О КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ ЛУННЫХ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В последние годы Мак Корд, Джонсон и другие авторы [1—3] выполнили высокоточные (ошибка $\sim 0,3\%$) спектрофотометрические измерения в интервале длин волн $0,3\text{—}1,1\text{ мкм}$ многих деталей (~ 100) лунной поверхности размером $10''$. Параллельно автор статьи составил карту, дающую распределение по видимому полушарию Луны колор-индекса вида $C = \rho(0,62\text{ мкм})/\rho(0,38\text{ мкм})$ при угле фазы $\alpha = 2^\circ$ с угловым разрешением около $5''$ и ошибкой $1\text{—}2\%$ [4].

Поскольку длины волн при построении карты выбраны произвольным образом, необходимо оценить изменения карты при изменении этих длин волн. Кроме того, важно оценить точность, с которой спектрофотометрическая кривая, построенная по значению C , описывает реальную кривую в области спектра $0,3\text{—}0,8\text{ мкм}$, количество колор-индексов, достаточное для описания этой области спектра, возможность колориметрического описания полосы поглощения лунного грунта в области $0,8\text{—}1,1\text{ мкм}$. Замена же спектрофотометрических измерений колориметрическими вполне оправдана тем, что позволяет от дискретных измерений перейти к непрерывным. Изучению этих вопросов и посвящена настоящая работа.

Линейное представление спектральной отражательной способности лунной поверхности

Использование одного колор-индекса для описания спектральной отражательной способности предполагает линейность ее хода по спектру

$$\rho(\lambda) = \rho(\lambda_1) \left[1 + \frac{C-1}{\lambda_2 - \lambda_1} (\lambda - \lambda_1) \right], \quad (1)$$

где $C = \frac{\rho(\lambda_2)}{\rho(\lambda_1)}$. В общем случае отражательная способность детали зависит также и от угла фазы $\rho(\lambda, \alpha)$. Эта зависимость будет рассмотрена отдельно, здесь же предположим, что все детали измеряются при одном и том же значении α .

Нормированная на λ_1 отражательная способность имеет вид

$$\rho_n(\lambda) = \frac{\rho(\lambda)}{\rho(\lambda_1)} = 1 + \frac{C-1}{\lambda_2 - \lambda_1} (\lambda - \lambda_1). \quad (2)$$

Нормировка значения C не меняет. Поскольку в области спектра 0,75—0,80 мкм начинается полоса поглощения, сравнение реального хода отражательной способности с линейным ходом имеет смысл проводить лишь для области спектра 0,3—0,8 мкм. Для такого сравнения использованы спектральные кривые, нормированные на длину волны 0,564 мкм, приведенные в работе [3]. Значения C определялись по этим же кривым для длин волн 0,38 и 0,62 мкм. Отклонения реальных кривых от линейности для большинства деталей лежат в пределах 5%, лишь для «синих» кратеров эти отклонения велики и для Аристарха достигают 10%. Такие отклонения весьма существенны, поскольку интервал различий колор-индексов невелик и составляет около 40%.

Все реальные кривые отражательной способности являются выпуклыми, поэтому на краях интервала линейное представление всегда дает завышенное значение отражательной способности, а посередине интервала — заниженное. Поэтому можно думать, что относительные кривые

$$\rho_{отн}(\lambda) = \frac{\rho_n(\lambda)}{\rho_n^{ст}(\lambda)}, \quad (3)$$

где $\rho_n^{ст}(\lambda)$ — нормированная спектральная отражательная способность лунной площадки, принятой за стандартную, и по отношению к которой определяется ход $\rho_n(\lambda)$ любой другой площадки, будут точнее описываться линейным представлением. Кривые $\rho_{отн}(\lambda)$, представленные в работах [1—3], использованы для сравнения с колориметрическими данными. В качестве стандарта Мак Корд выбрал площадку в Море Ясности с координатами 18°40'N, 21°25'E (Море Ясности 2).

В линейном представлении величина $\rho_{\text{отн}}(\lambda)$ имеет вид

$$\rho_{\text{отн}}(\lambda) = \frac{f(\lambda)}{f(\lambda_3)}, \quad (4)$$

где

$$f(\lambda) = \frac{\lambda(C_{\text{отн}} \cdot C_{\text{ст}} - 1) + (\lambda_2 - C_{\text{отн}} \cdot C_{\text{ст}} \cdot \lambda_1)}{\lambda(C_{\text{ст}} - 1) + (\lambda_2 - C_{\text{ст}} \cdot \lambda_1)}; \quad (5)$$

$$C_{\text{отн}} = \frac{\rho_{\text{отн}}(\lambda_2)}{\rho_{\text{отн}}(\lambda_1)}; \quad C_{\text{ст}} = \frac{\rho_{\text{н}}^{\text{ст}}(\lambda_2)}{\rho_{\text{н}}^{\text{ст}}(\lambda_1)};$$

λ_3 — длина волны, на которую производится нормировка (0,52 мкм в [1, 2] и 0,564 мкм в [3]).

Величины $C_{\text{отн}}$ определялись из реальных кривых $\rho_{\text{отн}}(\lambda)$, приведенных в [1—3]. Для вычисления функции (5) необходимо знать абсолютное значение $C_{\text{ст}}$. К сожалению, определенности в этом вопросе нет. При построении карты была проведена только калибровка. Стандартизация осуществлена по абсолютным измерениям Юнкина [5] для дна Платона ($C = 1,31$). Эти данные были использованы потому, что в работе [5] исследовалась зависимость (λ) также от угла фазы и было показано, что для дна Платона такая зависимость не существенна. Из [5] следует, что $C_{\text{ст}} = 1,27$.

Мак Корд [3] также провел абсолютные измерения $\rho(\lambda)$ стандартной площадки при углах фазы 20—30° и по его данным $C_{\text{ст}} = 1,66$. Исследование данных Мак Корда показало, что изменения $C_{\text{ст}}$ с углом фазы существенны и могут достигать 8—10%. Тем не менее, различие в 1,31 раза нельзя объяснить фазовой зависимостью и причина его не ясна.

Поэтому были построены два семейства кривых (4) при значениях $C_{\text{ст}} = 1,27$ и 1,66, $C_{\text{отн}}$ изменялось от 0,85 до 1,15 через 0,05, что соответствует реальным вариациям. Следует отметить, что различия этих семейств невелики — в области спектра 0,30—0,65 мкм они практически совпадают, для $\lambda = 0,8$ мкм и предельных значений $C_{\text{отн}}$ различия составляют 3%. Семейство кривых (4), соответствующее значению $C_{\text{ст}} = 1,66$, ближе к реальным кривым, поэтому сравнение производилось с ним. Если окажется, что более верно значение $C_{\text{ст}} = 1,27$, это будет означать, что отклонение от линейности реальных кривых для области спектра 0,7—0,8 мкм на несколько процентов больше.

На рис. 1 показаны реальные кривые $\rho_{\text{отн}}(\lambda)$ морских районов, взятые из работы [1], нанесенные на семейство кривых (4). Для преобладающего большинства деталей различия хода заключены в пределах 2%. Однако имеется ряд деталей (самые красные и самые синие), для которых начиная с $\lambda = 0,65$ мкм ход $\rho_{\text{отн}}(\lambda)$ существенно отклоняется от (4) и для $\lambda = 0,75$ мкм различия достигают 10%. Эти кривые показаны на рис. 2. Из него видно, что красные области в районе $\lambda = 0,6—0,8$ мкм становятся

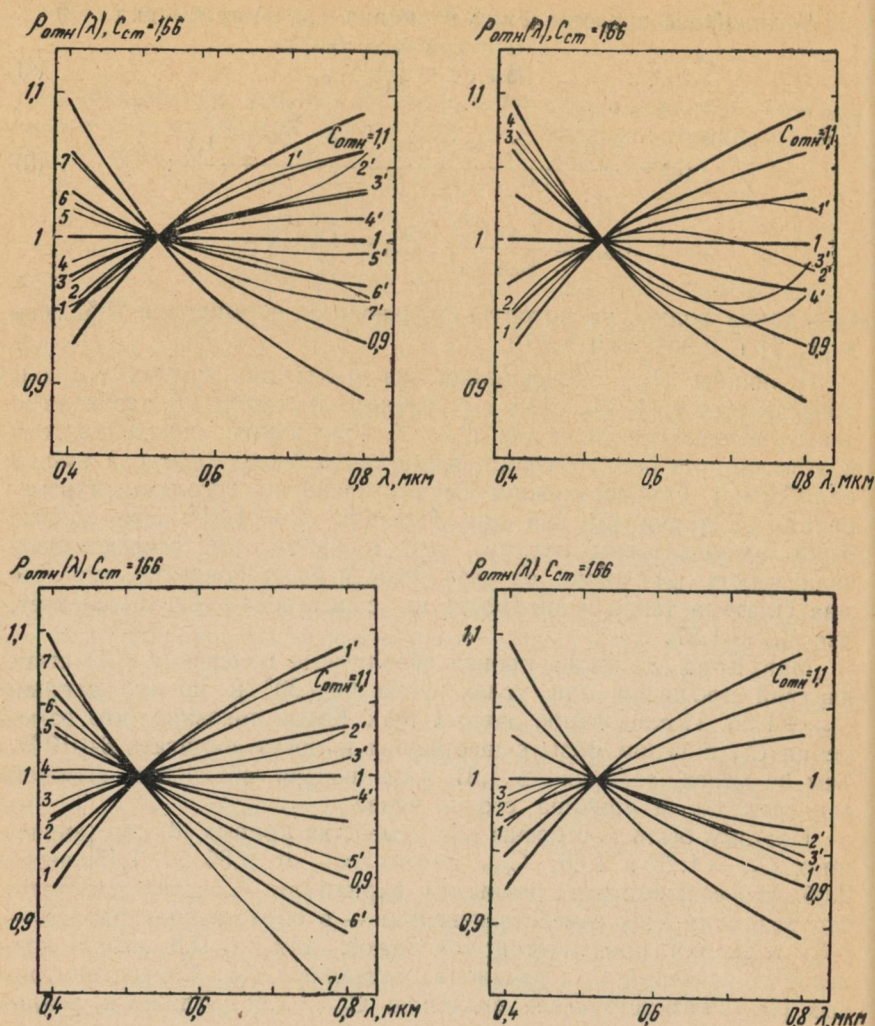


Рис. 1. Сравнение с линейным представлением спектрофотометрических кривых морских районов: 1—1' — Пятно Вуда, 2—2' — Море Дождей N, 3—3' — Море Дождей 4, 4—4' — Море Ясности 8, 5—5' — Море Ясности 11, 6—6' — Море Паров 1, 7—7' — Море Спокойствия 1.

Рис. 2. То же для самых красных и синих районов: 1—1' — Море Холода 1, 2—2' — Море Холода 3, 3—3' — Море Ясности 14, 4—4' — Коперник 7.

Рис. 3. То же для материковых районов: 1—1' — Материк 9, 2—2' — Апеннины 1, 3—3' — Материк 7, 4—4' — Материк 13, 5—5' — Тихо 1, 6—6' — Платон В, 7—7' — Аристарх.

Рис. 4. То же для ярких областей: 1—1' — Океан Бурь 1, 2—2' — Прокл, 3—3' — Кеплер 3.

более синими, синие — более красными, так что различия цвета в морях для этой области спектра гораздо ниже, чем для области 0,4—0,6 мкм, и имело бы смысл построение карты колор-индексов вида $C = \rho(0,75 \text{ мкм})/\rho(0,60 \text{ мкм})$. Использование системы двух колор-индексов позволило бы описать ход $\rho_{\text{отн}}(\lambda)$ с точностью до нескольких процентов для всего интервала 0,4—0,8 мкм.

На рис. 3 показаны аналогичные кривые для материковых районов. Отклонения их от (4) также не существенны. В то же время имеется ряд деталей, представленных на рис. 4 (яркие кратеры, исключая «синие»), для которых кривые $\rho_{\text{отн}}(\lambda)$ имеют максимум в районе 0,45—0,50 мкм и их ход не согласуется с семейством (4). В области спектра 0,60—0,75 мкм эти детали значительно синее, чем в области 0,4—0,6 мкм, так что использование колор-индексов указанного вида помогло бы их выявлению и более точному описанию хода $\rho_{\text{отн}}(\lambda)$. В работе [3] приведены кривые $\rho_{\text{отн}}(\lambda)$ для области спектра 0,3—1,1 мкм. В области 0,3—0,4 мкм практически все кривые показывают спад в ультрафиолетовую область, т. е. стандарт оказался самым красным для этой области (в визуальных лучах ход $\rho_{\text{отн}}^{\text{ст}}(\lambda)$ близок к среднему для Луны). Как отмечает сам Мак Корд в работе [6], измерения для этой области спектра не очень точны.

Таким образом, можно констатировать следующее.

Точное знание колор-индекса $C = \rho(0,62 \text{ мкм})/\rho(0,38 \text{ мкм})$ позволяет предсказать ход относительной отражательной способности по спектру с точностью до 2—3%, лишь для самых красных и самых синих морских районов ошибка, начиная с $\lambda = 0,65 \text{ мкм}$, растет и для 0,75 мкм может достигать 10%. Неверно предсказывается этот ход и для некоторых ярких кратеров (ошибка около 5%).

Выбор любых двух длин волн λ_1 и λ_2 в области спектра 0,30—0,65 мкм не меняет качественно построенную карту распределения колор-индекса, количественные изменения колор-индекса можно получить из формулы (1). Если же длины волн сместить в красную область спектра ($\lambda_1 = 0,60 \text{ мкм}$, $\lambda_2 = 0,75 \text{ мкм}$), следует ожидать резкого уменьшения цветовых контрастов в морях и значительного снижения колор-индекса ярких кратеров. По-видимому, построение колориметрической карты с использованием этих длин волн целесообразно.

0,95 мкм полоса поглощения лунного грунта

Как уже отмечалось выше, область спектра 0,75—1,1 мкм не может быть описана линейным представлением (4), поскольку здесь находится полоса поглощения лунного грунта. Согласно данным Мак Корда и Джонсона [6, 8], наземные телескопические измерения этой полосы, равно как и всей спектрофотомет-

рической кривой, находятся в хорошем согласии с лабораторными измерениями образцов лунного грунта, доставленных «Аполлоном-11». Некоторые различия для образцов «Аполлона-12» могут быть объяснены влиянием неоднородности этой площадки. Предложенная интерпретация этой полосы, как полосы поглощения пироксенов, является надежной. Глубина полосы определяется двумя факторами — количеством пироксенов и гранулометрическим составом грунта. Согласно [9], вариации гранулометрического состава в разных районах Луны невелики и, видимо, играют второстепенную роль. Поэтому можно думать, что распределение интенсивности полосы поглощения по Луне соответствует распределению количества пироксенов в лунном грунте. Столь четкая интерпретация 0,95 мкм полосы поглощения (что нельзя, к сожалению, сказать об оптических характеристиках) заставляет обратить особое внимание на ее исследование.

В работах [2, 3] представлены измерения этой полосы в области спектра 0,75—1,1 мкм для многих (около 50) деталей лунной поверхности относительно стандартной площадки. Чтобы

вычислить центральную остаточную интенсивность полосы ($r = \frac{\rho_k - \rho_0}{\rho_k}$, где ρ_k — отражательная способность в континууме на

0,95 мкм, ρ_0 — в центре полосы), необходимо провести уровень континуума. Для этого необходимо знать, на какой длине волны заканчивается полоса. В случае большого различия интенсивности полосы детали и стандарта, когда $\rho_{отн}(\lambda)$ дает в этой области спектра сильный максимум (малая интенсивность) или минимум (большая интенсивность), видно, что измерения заканчиваются, когда $\rho_{отн}(\lambda)$ не достигает континуума. Поэтому вычисления интенсивности полосы, выполненные Юнкиным [5] по данным Мак Корда [2] в предположении, что на 1,1 мкм $\rho_{отн}(\lambda)$ можно считать уровнем континуума, могут иметь значительно заниженные вариации r .

В работе [6] представлен ход $\rho(\lambda)$ для стандарта в области спектра 0,3—2,5 мкм, из которого видно, что полоса продолжается до 1,4—1,5 мкм, однако уже на 1,2 мкм глубина ее мала и не будет большой ошибкой считать, что на 1,2 мкм имеем уровень континуума. По данным [7] для земных пироксенов, длина волны 1,2 мкм также предпочтительнее для получения уровня континуума, чем 1,1 мкм.

Исходя из этих соображений, все кривые $\rho_{отн}(\lambda)$ [2, 3] были экстраполированы до 1,2 мкм, ход $\rho_{отн}(\lambda)$ в области спектра 0,40—0,75 мкм продолжен до 1,2 мкм (экстраполированное значение) и таким образом были определены значения ρ_k (0,95 мкм) всех деталей. Процедура определения ρ_k (0,95 мкм) каждый раз была одна и та же, поэтому ошибка за счет экстраполяции

имеет скорее систематический характер, чем случайный, и полученные различия r надежнее, чем сами значения r . Следует отметить также, что данная процедура близка той, которая проводилась Мак Кордом [3] при получении профиля полосы поглощения некоторых деталей и, в частности, стандартной ($r_{ст} = 7,1\%$).

Для получения абсолютного значения r по относительным кривым $\rho_{отн}(\lambda)$ необходимо знать $r_{ст}$:

$$r = 1 - \frac{\rho_0}{\rho_k}, \quad r_{ст} = 1 - \frac{\rho_0^{ст}}{\rho_k^{ст}}; \quad (6)$$

$$r_{отн} = 1 - \frac{\rho_0}{\rho_k} \bigg/ \frac{\rho_0^{ст}}{\rho_k^{ст}}.$$

Кроме того, измеренные по кривым $\rho_{отн}(\lambda)$ значения

$$r_{отн} = 1 - \frac{\rho_0(отн)}{\rho_k(отн)}. \quad (7)$$

Все значения ρ относятся к 0,95 мкм, индекс 0 — к измерениям в полосе, к — в континууме.

Комбинируя (6) и (7), получаем

$$r = r_{отн}(1 - r_{ст}) + r_{ст}. \quad (8)$$

По Мак Корду $r_{ст} = 7,1\%$, то же значение получено и по описанной выше процедуре. Все значения $r_{отн}$ по формуле (8) были переведены в абсолютные значения r . Контролем вычислений служило то обстоятельство, что r не может быть отрицательным. С точностью до 0,5% (при общем интервале $\Delta r = 20\%$) это условие выполняется.

Полученные значения r соответствуют самым разным углам фазы, поэтому нельзя исключить, что они отягощены фазовыми зависимостями. К

сожалению, углы фаз приведены лишь для 30 деталей, поэтому данных недостаточно, чтобы говорить о существовании или отсутствии фазовой зависимости $r(\alpha)$. Все же первое представляется более вероятным, хотя фазовый ход $r(\alpha)$ внутри отдельных морфологических групп деталей не превышает, вероятно,

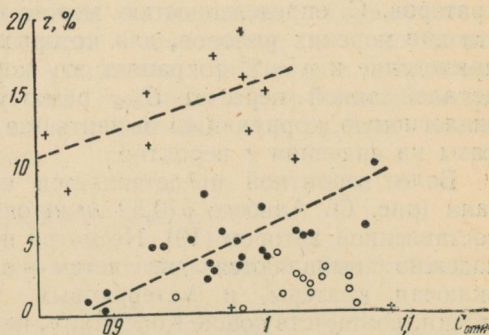


Рис. 5. Зависимость r от колор-индекса; ● — моря; + — морские кратеры; ○ — материк; ⊕ — материковые кратеры.

нескольких процентов, так что не может повлиять на вывод о том, что интенсивность полосы для материковых районов минимальна ($r = 0-4\%$), для морей составляет ($r = 0-10\%$), примерно столько же для материковых кратеров и максимальна для морских кратеров ($r = 9-19\%$), лишь у Коперника полоса поглощения отсутствует.

Была сделана попытка выявить корреляцию r с величиной колор-индекса $C_{отн}$ (без учета фазового эффекта). Она показана на рис. 5. Если такая связь и существует, то зависимость $r(C_{отн})$ образует несколько ветвей: для морских кратеров, морс-

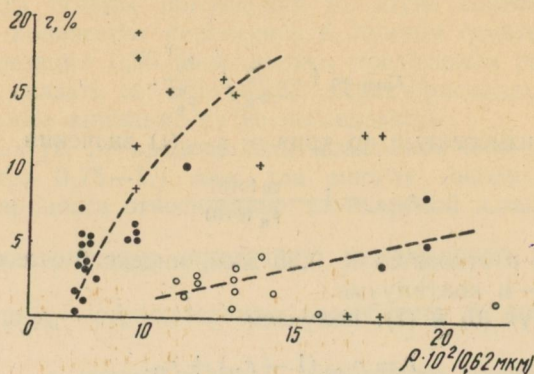


Рис. 6. Зависимость r от альbedo.

ких районов, материковых районов и, возможно, материковых кратеров. С определенностью можно говорить лишь о зависимости для морских районов, для которых вариации $C_{отн}$ велики и приведение к $\alpha = 2^\circ$ сохраняет эту корреляцию. Для остальных деталей такой пересчет $C_{отн}$ резко уменьшает его вариации и аналогичную корреляцию выявить не удалось. Так что влияние фазы на значения r вероятно.

Более вероятной представляется корреляция r с альbedo детали (рис. 6). Альbedo $\rho(0,62 \text{ мкм})$ определено по карте альbedo, составленной автором [10]. Несмотря на возможное влияние фазы, надежно выявляются две ветви — для морских образований, включая кратеры, и материковых, также включая кратеры (точки, соответствующие Копернику, не согласуются с остальными).

Существование корреляции интенсивности полосы поглощения с альbedo и, возможно, с колор-индексом свидетельствует о том, что двухпараметрическое районирование лунной поверхности [11] несет также информацию и о значении r . Поэтому детальное исследование распределения r по Луне позволит провести более надежную физическую интерпретацию двухпараметрической карты. Однако такое исследование методом спектрофотометрии потребует слишком большой затраты времени, поэтому была исследована возможность определения r методом колориметрии.

Колориметрически может быть получено значение колор-индекса вида $C' = \rho(0,95 \text{ мкм})/\rho(0,75 \text{ мкм})$. Его значение было вычислено для всех кривых, приведенных в работах [2, 3], и его корреляция с величиной r показана на рис. 7. Эта корреляция довольно тесная и может быть улучшена использованием информации о значении $C = \rho(0,62 \text{ мкм})/\rho(0,38 \text{ мкм})$.

Таким образом, с точностью до 2% значение интенсивности полосы поглощения лунного грунта может быть получено колориметрически.

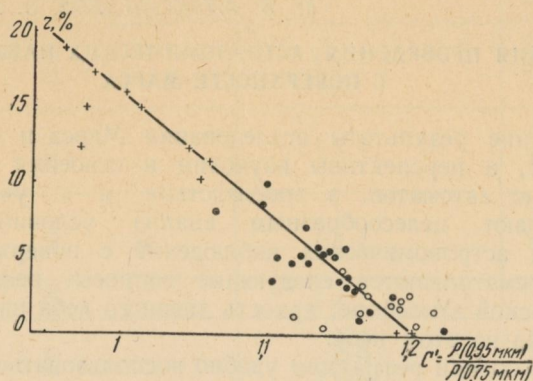


Рис. 7. Корреляция r колор-индексом C' .

Из проведенного сравнительного анализа методов колориметрии и спектрофотометрии можно сделать вывод о преимуществе колориметрического исследования спектральной отражательной способности лунной поверхности — этот метод дает достаточно высокую точность (1—2%) и позволяет производить глобальное исследование практически всех особенностей спектрофотометрических кривых в области спектра 0,3—1,1 мкм, включая полосу поглощения лунного грунта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mc. Cord T. B. Color differences on the lunar surface, J. Geophys. Res., 1969, v. 74, p. 3131—3142.
2. Mc. Cord T. B., Johnson T. V. Relative spectral reflectivity 0,4—1 μ of selected areas of the lunar surface. J. Geophys. Res., 1969, v. 74, p. 4395—4401.
3. Mc. Cord T. B., Charette M. P., Johnson T. V., Lebofsky L. A., Pieters C. Lunar spectral types, J. Geophys. Res., 1972, v. 77, p. 1349—1359.
4. Евсюков Н. Н. Карта цвета видимого полушария Луны. Киев, «Наукова думка», 1973.
5. Jounkin R. L. Optical reflectance of local areas of the moon. Astron. J., 1970, v. 75, № 7, p. 831—841.
6. Mc. Cord T. B., Johnson T. V. Lunar spectral reflectivity (0,3 to 2,50 μ) and implications for remote mineralogical analysis, — Science, 1970, v. 169, p. 855—858.
7. Adams J. B., Filice A. L. Spectral reflectance 0,4 to 2,0 μ of silicate rock powders, J. Geophys. Res., 1967, v. 72, p. 5705—5715.

8. Adams J. B., Mc. Cord T. B. Alteration of lunar optical properties; Age and composition effects, Science, 1971, v. 171, p. 567—571.
9. Jaffe L. D. The Surveyor lunar landings, Science, 1969, v. 164, p. 775—788.
10. Евсюков Н. Н. Карта альbedo видимого полушария Луны. Киев, «Наукова думка», 1973.
11. Евсюков Н. Н. Двухпараметрическое районирование лунной поверхности. — «Астроном. журнал», 1974, т. 51, вып. 3, с. 611—616.

УДК 523.43

Ю. В. АЛЕКСАНДРОВ, В. М. ЛИТВИНОВ

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ С ПОВЕРХНОСТИ МАРСА

Последние результаты исследования Марса и его атмосферы позволяют, а перспективы изучения и освоения этой планеты с помощью автоматов, а впоследствии и с участием человека делают целесообразным анализ условий проведения различных астрономических наблюдений с поверхности Марса. Ниже рассматриваются следующие вопросы: рефракция света в марсианской атмосфере; яркость дневного неба на Марсе; видимость звезд на этом небе.

1. Для оценки рефракции удобно воспользоваться формулами, полученными в работе [1]:

$$r_c = r_{c'} \operatorname{tg} \left[z - (\varepsilon - r_c) \frac{r_{f'}}{r_{c'}} \right], \quad (1)$$

$$r_{f'} = c_0 \left[\frac{R (P_g - P_a)}{g (H_a - H_g)} - \frac{P_a}{T_a} \right], \quad (2)$$

$$C_0 = \frac{N_0 T_0}{P_0} \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

$$r_{c'} = C_0 \left(\frac{P_g}{T_g} - \frac{P_a}{T_a} \right). \quad (4)$$

Угол $z - (\varepsilon - r_c)$ определяется уравнением

$$\sin [z - (\varepsilon - r_c)] = \frac{a + H_g}{a + H_a} \cdot \frac{1 + \frac{C_0 P_g}{T_g}}{1 + \frac{C_0 P_a}{T_a}} \sin z, \quad (5)$$

где P_g, T_g, H_g — давление, температура и высота в начальной точке светового луча;

P_a, T_a, H_a — то же для конечной точки;

R — удельная газовая постоянная;

g — ускорение силы тяжести;

N_0 — индекс преломления атмосферы при температуре T_0 и давлении P_0 ;

a — радиус планеты.

Таблица 1

№ слоя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Σr_c	[2]
Высота верхней границы слоя, h_i км	z	2	4	6	10	20	40	60	80	100	120	200	300	500	1000	
Угол рефрак- ции в слое, r_{ci} $h_{iN}-h_i$	10° 60° 80°	1",88 18",43 60",16	1",54 15",16 49",08	1",30 12",78 41",08	2",04 19",44 63",33	2",04 25",74 79",96	0",72 6",66 20",71	0",02 0",27 0",74	0",003 0",03 0",07	— 0",002 0",004	— — —	— — —	— — —	— — —	10",144 93",302 315",138	10",153 99",399 315",500
Угол рефрак- ции в слое, r_c $0-h_i$	10° 60° 80°	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	8",84 73",09 333",07	9",41 82",58 334",29	9",99 92",89 335",54	10",22 97",74 336",64	10",35 101",54 338",42			

Формулы (1)—(5) можно применять как к атмосфере в целом, так и к отдельным ее слоям с последующим суммированием значений r_{ci} для отдельных слоев. Достоинством этих формул является то, что они требуют информацию только о свойствах атмосферы в начальной и конечной точках светового луча. Так как в [1] не дается достаточного обоснования формул (1)—(5), были сделаны предварительно вычисления углов рефракции r_c для земной атмосферы и проведено сопоставление полученных результатов с данными [2] (табл. 1). Анализ этой таблицы показывает, что практически все преломление света происходит в слое высотой ~ 100 километров, а наиболее точные результаты без разбиения на отдельные слои получаются при высоте атмосферы в несколько раз больше, чем высота эффективного преломляющего слоя $h_{эф}$.

Чтобы оценить толщину эффективного преломляющего слоя марсианской атмосферы, были проделаны аналогичные вычисления для модели атмосферы, предложенной в [3] (см. табл. 2). Видно, что высота атмосферы $h_{эф} \approx 40-50$ километров и, значит, высоту однослойной атмосферы надо брать $H_a \geq 100$ километров. Но на этих высотах значения давления P_a пренебрежимо малы. А если положить $P_a = 0$, то угол рефракции r_c от значения температуры T_a не зависит, что весьма существенно в силу неопределенности величины T_a . Заметим также, что погрешность, связанная с неопределенностью величины H_a , является малой величиной второго порядка малости. Итак, осталось оценить значения величин P_g и T_g . Из [3] следует, что давление и температура у поверхности Марса меняются в довольно широких пределах — давление от 3 до 13 мб, температура от 140 до 300° К в зависимости от топографии, широты, сезона и времени суток. Чтобы оценить соответствующие возможные изменения рефракции, были выбраны четыре экстремальные ситуации (см. 2 и 3 столбцы табл. 3). Первые два случая реализуются днем на экваторе в низине и на возвышенности. Вторые два случая могут иметь место полярной ночью опять-таки в низине и на возвышенности.

Таблица 2

№ слоя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Высота границ слоя, км	1—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90	90—100
Угол рефракции	$3'',97 \times 10^{-1}$	$2'',10 \times 10^{-1}$	$9'',47 \times 10^{-2}$	$2'',40 \times 10^{-2}$	$5'',78 \times 10^{-3}$	$1'',46 \times 10^{-3}$	$2'',89 \times 10^{-4}$	$5'',95 \times 10^{-5}$	$9'',42 \times 10^{-6}$	$1'',86 \times 10^{-6}$

В табл. 3 приводятся полученные значения углов рефракции r_c для указанных выше четырех случаев и двух моделей атмосферы: 1) атмосферы, полностью состоящей из CO_2 , и 2) атмосферы,

состоящей из 50% CO_2 и 50% Ar . Характерные значения угла рефракции $r_c \approx 1''$. При значениях $z \leq 80^\circ$ величина r_c не превосходит $10''$. Таким образом, рефракция света в атмосфере Марса, как и следовало ожидать, невелика, однако ее нужно учитывать при проведении астрометрических наблюдений. Влияние неопределенности в химическом составе не очень значительно ($\sim 20\%$). Но следует обратить внимание на существенные относительные колебания величины рефракции в зависимости от времени и места наблюдений.

Таблица 3

Химический состав	T	P	z		
			10°	60°	80°
100%	300° К	3мб	0",04	0",36	0",65
		9мб	0",12	1",09	1",96
CO_2	140° К	4мб	0",12	1",09	1",96
		13мб	0",40	3",67	8",55
50% CO_2 50% Ar	300° К	3мб	0",03	0",30	0",52
		9мб	0",10	0",89	1",57
	140° К	4мб	0",10	0",92	2",12
		13мб	0",32	3",00	6",90

2. Яркость дневного марсианского неба оценена в приближении чистого однократного рассеяния, т. е. яркость неба

$$B = S \cos i \left[\frac{\chi(\gamma)}{4(\cos i + \cos \epsilon)} \cdot \left(e^{-\frac{\tau_0}{\cos i}} - e^{-\frac{\tau_0}{\cos \epsilon}} \right) + A e^{-\frac{\tau_0}{\cos i}} \left(1 - e^{-\frac{\tau_0}{\cos \epsilon}} \right) \right], \quad (6)$$

где πS — нормальная освещенность Солнцем верхней границы атмосферы;

i — угол падения солнечных лучей;

ϵ — угол визирования;

τ_0 — оптическая толщина атмосферы;

χ_γ — индикатриса рассеяния света в атмосфере;

A — альбедо поверхности.

Рассмотрены две модели атмосферы — предельный случай незапыленной атмосферы — чисто газовая атмосфера и аэрозольно-газовая атмосфера в некотором среднем нормальном состоянии. Значения оптической толщины чисто газовой атмосферы взяты из [4]. Значения τ_0 и индикатрисы рассеяния аэрозольно-газовой атмосферы получены (с некоторой экстраполяцией в длинноволновую область) по данным работы [5] (см. табл. 4).

Таблица 4

λ, μ	Угол рассея- ния, γ	0,35	0,45	0,55	0,65	10,5
Оптическая тол- щина чисто газо- вой атмосферы, τ_{op}		0,0146	0,0053	0,0024	0,00128	0,00017
Оптическая тол- щина аэрозольно- газовой атмосфе- ры, τ_{oa}		0,065	0,038	0,025	0,020	0,016
Индикатриса рас- сеяния аэрозольно- газовой атмосфе- ры, $x(\gamma)$	50°	0,443	0,405	0,382	0,368	0,344
	90°	0,482	0,465	0,455	0,456	0,436
	130°	1,46	1,49	1,50	1,51	1,53

Результаты вычислений яркости дневного марсианского неба в вертикале Солнца приведены в табл. 5 и 6. Табл. 5 дает спектральные яркости в $\frac{эрг}{см^2 \cdot сек \cdot стерад \cdot \text{Å}}$ для длины волны $\lambda =$

$= 0,55 \mu$. Табл. 6 дает полученные соответствующим интегрированием по спектру значения интегральной яркости в стильбах $\cdot 10^3$. Последние две строки соответствуют противосолнечной части вертикала. Характерные значения яркости марсианского неба лежат в пределах $10^{-2} - 10^{-3}$ стильба, что соответствует яркости земного неба при высоте Солнца над горизонтом $h_{\odot} \approx -3 - 5^\circ$. Значения яркости наименее уверенно определяются вблизи Солнца и при больших значениях z . Однако эффекты околосолнечного ореола и увеличения яркости к горизонту, по-видимому, реальны.

Таблица 5

$h_{\odot}$ z	Чисто газовая атмосфера			Аэрозольно-газовая атмосфера		
	90°	50°	10°	90°	50°	10°
80°	0,175	0,196	0,172	1,508	2,960	9,765
40°	0,050	0,051	0,032	0,768	2,631	0,507
0°	0,044	0,034	0,017	2,073	0,546	0,127
40°	0,050	0,035	0,026	0,768	0,313	0,109
80°	0,175	0,170	0,162	1,508	1,139	0,549

3. В качестве объективной оценки видимости звезд на дневном марсианском небе найдены предельные звездные величины

звезд, которые могут быть получены при фотографировании с помощью определенного телескопа. Как известно [6], величина

$$m_{\max} = -1 + 5 \lg D + 2,15 \lg t_{\max}, \quad (7)$$

где D — диаметр объектива;

$t_{\max}$ — предельная экспозиция, зависящая от параметров камеры, свойств фотопластины и яркости неба.

Для несенсибилизированных панхроматических эмульсий

$$\lg t_{\max} = -8,71 - 2,32 \lg A - 1,16 \lg B. \quad (8)$$

Здесь A — светосила инструмента;

B — яркость неба в стильбах.

Таблица 6

$h_{\odot}$	z	Чисто газовая атмосфера	Аэрозольно-газовая атмосфера
90°	0°	—	—
	40°	3,66	56,2
	80°	12,9	106,3
50°	0°	2,46	40,2
	40°	2,64	23,1
	80°	12,3	84,2
10°	0°	1,24	9,22
	40°	1,90	9,00
	80°	12,1	40,2

Таблица 7

A	B/D	Чисто газовая атмосфера			Аэрозольно-газовая атмосфера		
		50 мм	200 мм	1000 мм	50 мм	200 мм	1000 мм
1	max	$-4^m,1$	$-1^m,1$	$+2^m,4$	$-6^m,45$	$-3^m,45$	$+0^m,05$
3	min	$-1^m,6$	$+1^m,4$	$+4^m,9$	$-3^m,6$	$-0^m,6$	$+2^m,9$
1	max	$+0^m,0$	$+3^m,0$	$+6^m,5$	$-2^m,3$	$+0^m,7$	$+4^m,2$
20	min	$+2^m,5$	$+6^m,5$	$+9^m,0$	$+0^m,5$	$+3^m,5$	$+7^m,0$

Результаты вычислений величины $m_{\max}$ для различных значений A и D и предельных значений B из табл. 6 приведены в табл. 7. Видно, что малоформатной светосильной камерой можно сфотографировать только яркие объекты с $m < -1^m$. Длиннофокусная камера позволяет получить звезды до 9^m в зависимости от диаметра объектива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куштин И. Ф. Рефракция световых лучей в атмосфере с произвольными параметрами., «Геод., картогр. и аэрофотосъемка. Респ. межвед. науч.-техн. сб.», 1972, вып. 16, с. 59—65.
2. Таблицы рефракции Пулковской обсерватории, изд. 4. Изд-во АН СССР, 1956.
3. Kliore A. I., Cain D. Z., Fieldbo G. and all. The Atmosphere of Mars from Mariner 9 Radio Occultation Measurements. — «Icarus», 1972, vol. 17, p. 484—516.
4. Стародубцева О. М. Хід оптичної густини газової атмосфери Марса з висотою. — «Вісник Харківськ. ун-ту», № 82. Астрономія, вип. 7, 1972, с. 48—53.
5. Мороженко А. В. Атмосфера Марса по поляризационным наблюдениям. — «Астроном. журнал», 1969, т. 46, № 5, с. 1087—1094.
6. Мартынов Д. Я. Курс практической астрофизики. М., «Наука», 1967. 543 с.

УДК 523.4

Ю. В. АЛЕКСАНДРОВ, В. П. КУЛИЧКИН

К ВОПРОСУ О РАДИАЦИОННОМ РЕЖИМЕ В ОКОЛОПЛАНЕТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

При определении и анализе светового и теплового режима на поверхности естественного спутника планеты или на борту ее искусственного спутника необходимо учитывать и облучение спутника солнечным излучением, отраженным видимой поверхностью планеты. Освещенность, создаваемая планетой на расстояниях, сравнимых с ее радиусом a , равна

$$E = \frac{E_0}{\pi} \cdot \frac{L_0^2}{L_{\odot}^2} \iint_{(D)} \frac{1}{r^2} \rho_0(i', \epsilon', \varphi') \cos i' \cos \epsilon' \cos i \, d\sigma, \quad (1)$$

где E_0 — нормальная освещенность, создаваемая Солнцем на некотором расстоянии L_0 ;

$L_{\odot}$ — гелиоцентрическое расстояние планеты;

r — расстояние освещаемой элементарной площадки до освещающего элемента поверхности планеты площадью $d\sigma$;

ρ_0 — коэффициент яркости элемента поверхности планеты;

i' — угол падения солнечных лучей на элемент поверхности планеты;

ϵ' — угол отражения света от элемента поверхности планеты;

i — угол падения света на элементарную площадку;

φ' — угол фазы отраженного планетой излучения (рис. 1).

Нахождение величины E путем численного интегрирования не представляет принципиальных трудностей. Однако для оценки характера изменения режима облучения, например, при движении спутника по некоторой орбите, желательно иметь конечные выражения для освещенности E , хотя бы для отдельных характерных ситуаций. Следует отметить, что рассматриваемая задача существенно усложняется по сравнению с аналогичной задачей

для собственного излучения планеты [1, гл. 5]¹ в силу трех обстоятельств:

1) величина E определяется не только взаимным расположением планеты и освещаемой ею элементарной площадки, а взаимным расположением планеты, элементарной площадки и Солнца и задача, таким образом, не двухпараметрическая, а четырехпараметрическая;

2) область интегрирования D ограничена, в общем случае, дугами терминатора, малого круга, определяющего горизонт на планете с высоты спутника, и малого круга, образующегося при пересечении ☉ плоскости элементарной площадки с поверхностью планеты;

3) коэффициент яркости может быть достаточно сложной функцией углов i' , ε' и φ' .

Ниже дается аналитическое выражение для величины E в случае ортотропно отражающей планеты в произвольной геометрической ситуации и более подробно исследуются четыре частных случая. Рассмотрение закона Ламберта может быть оправдано не только его теоретической простотой, но и тем, что отражение света от поверхности Марса близко к ортотропному в длинноволновой части оптического диапазона, и планеты с оптически плотными атмосферами — Венера и планеты-гиганты — также отражают свет по закону, близкому к ламбертовскому.

Итак, пусть $\rho_0(i', \varepsilon', \varphi') = A$, где A — альбедо поверхности. В этом случае

$$E = A \frac{E_0}{\pi} \cdot \frac{L_0^2}{L^2} \cdot H(D). \quad (2)$$

Величину

$$H = \iint_{(D)} \frac{1}{r^2} \cos i' \cos \varepsilon' \cos i d\sigma \quad (3)$$

можно по аналогии с [1, гл. 5, с. 42] назвать эффективной площадью облучения элементарной площадки сферой планеты.

¹ Автоматические планетные станции. М., «Наука», 1973. 280 с. (Авт.: В. В. Андрианов, В. В. Артамонов, И. Т. Атаманов и др.).

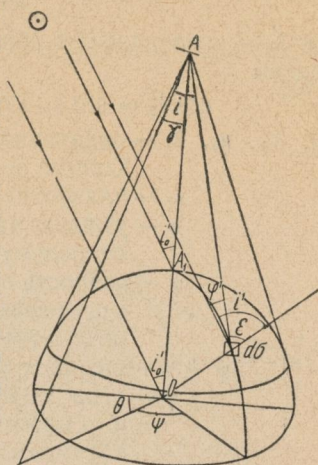


Рис. 1. Условия освещения элементарной площадки планеты.

Рассмотрев соответствующие сферические и плоские треугольники, видим, что

$$\cos i' = \cos \alpha \cos i'_0 + \sin \alpha \sin i'_0 \cos (\psi + \theta), \quad (4)$$

$$\cos \varepsilon' = \frac{1}{r} (r_c \cos \alpha - a), \quad (5)$$

$$\cos i = \frac{1}{r} [r_c \cos \gamma - a (\cos \gamma \cos \alpha + \sin \gamma \sin \alpha \cos \psi)], \quad (6)$$

$$r = \sqrt{r_c^2 - 2r_c a \cos \alpha + a^2}, \quad (7)$$

$$d\sigma = a^2 \sin \alpha d\alpha d\psi, \quad (8)$$

где i'_0 — угол падения солнечных лучей в подспутниковой точке, причем

$$\cos i'_0 = \sin \delta_\odot \sin \delta_c + \cos \delta_\odot \cos \delta_c \cos (\alpha_\odot - \alpha_c); \quad (9)$$

$\alpha_\odot$, $\delta_\odot$, α_c , δ_c — экваториальные планетоцентрические координаты Солнца и спутника соответственно;

r_c — планетоцентрическое расстояние спутника;

α — угловое расстояние элемента поверхности планеты от подспутниковой точки;

ψ — разность азимутов элемента поверхности и нормали к освещаемой элементарной площадке относительно подспутниковой точки;

$\psi + \theta$ — разность азимутов элемента поверхности и Солнца;

γ — угол между нормалью к элементарной площадке и планетоцентрическим радиусом — вектором спутника.

Подставляя (4)–(8) в (3), приводим выражение для площадки облучения к следующему виду

$$\begin{aligned} H = & \frac{1}{a^3} \left\{ \cos i'_0 \cos \gamma \int_{\psi_1}^{\psi_2} d\psi I_1(x) \right|_{x_1(\psi)}^{x_2(\psi)} + \\ & + \sin i'_0 \cos \gamma \int_{\psi_1}^{\psi_2} \cos (\psi + \theta) d\psi I_2(x) \right|_{x_1(\psi)}^{x_2(\psi)} + \\ & + \cos i'_0 \sin \gamma \int_{\psi_1}^{\psi_2} \cos \psi d\psi I_3(x) \right|_{x_1(\psi)}^{x_2(\psi)} + \\ & + \sin i'_0 \sin \gamma \int_{\psi_1}^{\psi_2} \cos \psi \cos (\psi + \theta) d\psi I_4(x) \right|_{x_1(\psi)}^{x_2(\psi)} \}. \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь $x = \cos \alpha$, а пределы интегрирования ψ_1 , ψ_2 , $x_1(\psi)$, $x_2(\psi)$ определяются ориентацией элементарной площадки и положением площадки и Солнца на небесной сфере и зависят от значений углов γ , i'_0 , θ . Величины I равны

$$\begin{aligned} I_1 = & \frac{1}{2} \left\{ \left[(r_c^2 + a^2) - \frac{1}{2} A(x) \right] A(x) + \right. \\ & \left. + \frac{(r_c^2 + a^2)(r_c^2 - a^2)^2}{A(x)} + (r_c^2 - a^2)^2 \ln A(x) \right\}, \end{aligned} \quad (11)$$

$$I_2 = \frac{2a^3 r_c^3 x^2 - a^2 r_c^2 (r_c^2 + a^2) x + a r_c (r_c^2 - a^2)}{A(x)} \sqrt{1 - x^2} - (r_c^4 + a^4) \arcsin x - (r_c^4 - a^4) \arcsin \frac{2a r_c - (r_c^2 + a^2)^2 x^2}{A(x)}, \quad (12)$$

$$I_3 = \frac{2a^3 r_c^3 x^2 - a r_c (3r_c^2 - a^2) (r_c^2 - a r_c + a^2)}{A(x)} \sqrt{1 - x^2} + (3r_c^4 - a^4) \arcsin x + (3r_c^4 + a^4) \arcsin \frac{2a r_c - (r_c^2 + a^2) x}{A(x)}, \quad (13)$$

$$I_4 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{4a^2 + A(x)}{2} A(x) - \frac{(r_c^2 - a^2)^3}{A(x)} + (3r_c^2 + a^2) (r_c^2 - a^2) \ln A(x) \right\}, \quad (14)$$

$$A(x) = r_c^2 - 2a r_c x + a^2. \quad (15)$$

Рассмотрим подробнее частные случаи, соответствующие следующим простым геометрическим ситуациям (рис. 2):

$$1) \gamma = 0; i'_0 = 0; \quad 2) \gamma = \frac{\pi}{2}; i'_0 = 0;$$

$$3) \gamma = 0; i'_0 = \frac{\pi}{2}; \quad 4) \gamma = \frac{\pi}{2};$$

$$i'_0 = \frac{\pi}{2}; \theta = \frac{\pi}{2}.$$

В первом случае $0 \leq \psi \leq 2\pi$, во втором и третьем $-0 \leq \psi \leq \pi$, в четвертом $-0 \leq \psi \leq \frac{\pi}{2}$, во всех случаях $-\frac{a}{r_c} \leq x \leq 1$. Очевидно, случай 1 даст оценку для освещенности E сверху.

Выполнив интегрирование по ψ и подстановку пределов интегрирования в (10), получим, перейдя к безразмерному расстоянию $\rho = \frac{r_c}{a}$, что

$$1) H = \frac{1}{2\rho^2} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\rho} + \frac{1}{\rho^2} - \frac{(\rho^2 - 1)}{4\rho} \ln \frac{\rho + 1}{\rho - 1} \right], \quad (16)$$

$$2) H = \frac{1}{4\pi\rho^3} \left[3\rho^4 \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{1}{\rho} \right) + \frac{\pi}{2} - (3\rho^2 + 2) \sqrt{\rho^2 - 1} \right], \quad (17)$$

$$3) H = \frac{1}{4\pi\rho^3} \left[\rho^4 \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{1}{\rho} \right) - \frac{\pi}{2} - (\rho^2 - 2) \sqrt{\rho^2 - 1} \right], \quad (18)$$

$$4) H = \frac{1}{16\pi\rho^3} \left[\frac{1}{2} (\rho^2 - 1) (3\rho^2 + 1) \ln \frac{\rho + 1}{\rho - 1} - (\rho - 1) (3\rho^2 + 3\rho + 2) \right]. \quad (19)$$

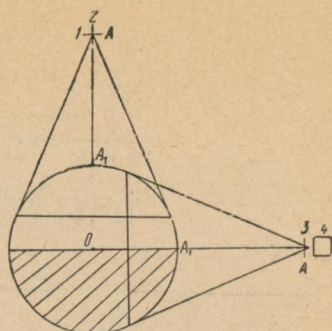


Рис. 2. Ориентация элементарной площадки по отношению к планете и Солнцу.

На рис. 3 и 4 показан ход функции $H(\rho)$ в рассматриваемых случаях. При $\rho \gg 1$ можно получить следующие асимптотические выражения:

$$\begin{aligned} 1) \quad H &= \frac{2}{3\rho^2} \left(1 + \frac{4}{3\rho} \right); \quad 2) \quad H = \frac{1}{8\rho^3}; \\ 3) \quad H &= \frac{2}{3\pi\rho^2} \left(1 - \frac{3\pi}{16\rho} \right); \quad 4) \quad H = \frac{1}{8\pi\rho^3}. \end{aligned} \quad (20)$$

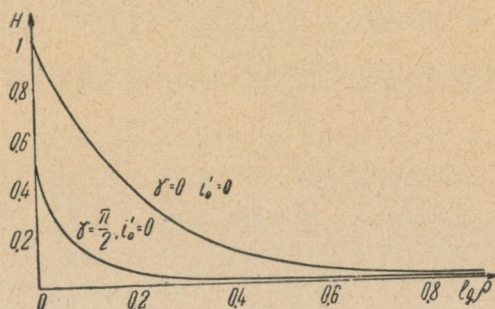


Рис. 3. Зависимость эффективной площади облучения от расстояния (случай 1 и 2).

$E(\text{лк } 10^{-3})$					
Планета	Объект	$\gamma = 0;$ $i_0' = 0$	$\gamma = \frac{\pi}{2};$ $i_0' = 0$	$\gamma = 0;$ $i_0' = \frac{\pi}{2}$	$\gamma = \frac{\pi}{2};$ $i_0' = \frac{\pi}{2};$ $\theta = \frac{\pi}{2}$
Венера	ИСВ; $h = 10^3$ км	130	33	6,4	1,8
$E_{\odot} = 258$	—	—	—	—	—
$A = 0,75$	ИСВ; $h = 5 \cdot 10^3$ км	47	5,6	6,6	0,73
Марс	ИСМ; $h = 500$ км	6,6	1,7	0,30	0,084
$E_{\odot} = 58$	Фобос	0,84	0,084	0,19	0,015
$A = 0,15$	Деймос	0,18	0,0033	0,034	0,0011
Юпитер	ИСЮ; $h = 5 \cdot 10^3$ км	1,9	0,68	0,054	0,018
$E_{\odot} = 5,0$	ИСЮ; $h = 5 \cdot 10^4$ км	0,69	0,091	0,090	0,011
$A = 0,45$	Амальтея	0,30	0,036	0,054	0,0041
	Ио	0,050	0,0045	0,013	0,00044
Сатурн	ИСС; $h = 5 \cdot 10^3$ км	0,62	0,19	0,018	0,0070
$E_{\odot} = 1,5$	Кольцо (внутренний край)	0,31	0,052	0,032	0,0050
$A = 0,5$	Кольцо (внешний край)	0,15	0,012	0,021	0,0015
	Мимас	0,064	0,0052	0,013	0,0013

Оценки освещенности в ряде случаев, полученные на основе формул (16)—(19), приведены в таблице. Видно, что для ИСП

на высотах $h < a$ и для ближайших к планетам ЕСП освещенность от планеты может быть достаточно велика и вносить ощутимый вклад в тепловой и световой режимы объектов в околопланетном пространстве.

Заметим в заключение, что случаи 1 и 2 допускают несложные обобщения на произвольные значения $i'_0 \left(0 \leq i'_0 \leq \frac{\pi}{2} - \arccos \frac{1}{p} \right)$. Так, в первом случае добавляется множитель $\cos i'_0$.

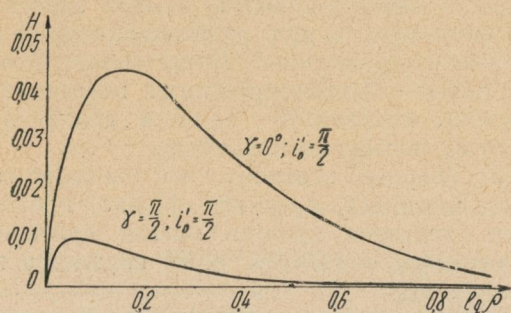


Рис. 4. Зависимость эффективной площади облучения от расстояния (случай 3 и 4).

УДК 523.34

В. И. ЕЗЕРСКИЙ, В. А. ПЛАХОТНИЧЕНКО

О СООТНОШЕНИИ ГОРЯЧИХ ПЯТЕН ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ

Одной из актуальных задач современной селенофизики является изучение структурных и физических неоднородностей и особенностей реголита отдельных участков лунной поверхности.

Неоднородность остывания лунной поверхности во время затмений была обнаружена впервые Синтоном в 1960 г., когда было установлено, что лучистые кратеры Тихо, Коперник остаются горячее прилегающих участков [1]. Полное сканирование Луны в ИК-лучах (10—12 мкм) было проведено Саари и Шортхиллом во время затмения Луны 19 декабря 1964 г. [2]. Обнаружены сотни тепловых аномалий, обладающих меньшей скоростью остывания по сравнению с прилегающими участками, получившие название горячих пятен.

Как отмечено в ряде работ, возможными причинами возникновения горячих пятен могут быть:

а) увеличение локальной степени изрытости участка, в частности, наличие россыпей камней;

б) изменение одного из множителей коэффициента тепловой инерции $(\kappa\rho c)^{1/2}$, а следовательно, и величины пористости и распределения частиц по размерам;

в) наличие внутренних источников тепла.

Несмотря на обширные данные о тепловых аномалиях и осуществление космических экспериментов с помощью космических кораблей и космических аппаратов, вопрос о природе тепловых пятен не получил своего окончательного разрешения.

Для решения этого вопроса существенным оказывается сопоставление тепловых неоднородностей лунной поверхности с неоднородностями, выявляемыми при радиолокационных наблюдениях, а также в оптическом диапазоне. Представляет интерес сопоставление горячих пятен с фотометрическими параметрами — фазовой функцией яркости, градиентом яркости вблизи нулевой фазы, показателем цвета, нормальным альбедо.

В работе [3] впервые отмечено, что наиболее горячие пятна (кратеры Тихо, Коперник, Аристарх, Прокл) проявляются и как неоднородности градиента яркости вблизи нулевой фазы, т. е. существенно меньшим значением этого параметра по сравнению со средней величиной.

Опубликованные в последнее время данные о тепловых аномалиях дают возможность более подробно рассмотреть их соотношение с неоднородностями градиента яркости.

В [4] приведен каталог 169 тепловых аномалий экваториальной зоны $\pm 8^\circ$ по широте и $+50^\circ$ по долготе, в котором даны селенографические координаты аномалий и значение превышения температуры ΔT .

Сопоставление радиометрического каталога тепловых аномалий с фотометрическим каталогом градиента яркости участков лунной поверхности обнаружило 28 общих деталей, данные о которых приведены в таблице.

В таблице, кроме селенографических координат, приведены значения ΔT , градиента яркости — производной фазовой функции вблизи нулевой фазы $\left(\frac{\partial f}{\partial \alpha}\right)_0$, нормальное альбедо, показатель цвета S , определенный как величина $S = \frac{\rho_{\text{кр}}}{\rho_c}$. Сопоставление фото-

метрических и радиометрических параметров приведено на рис. 1, 2.

Из рис. 1 видно, что, как было отмечено и ранее, для интенсивных тепловых аномалий ($\Delta T > 15^\circ$) характерны малые значения градиента яркости $\left(\left(\frac{\partial f}{\partial \alpha}\right)_0 \leq 0,045\right)$.

Исключение составляют только детали № 21, 23, обладающие большим значением градиента яркости. Для тепловых аномалий с $\Delta T < 15^\circ$ корреляционное соотношение между ΔT и градиентом яркости не намечается. Не намечается также корреляционной зависимости между ΔT и нормальным альбедо. Что касается соот-

ношения $\Delta T \sim C$, то, как видно из рис. 2, тепловые аномалии, если не учитывать их величину, концентрируются вблизи $C \sim 1,13$ и $C \sim 1,20$.

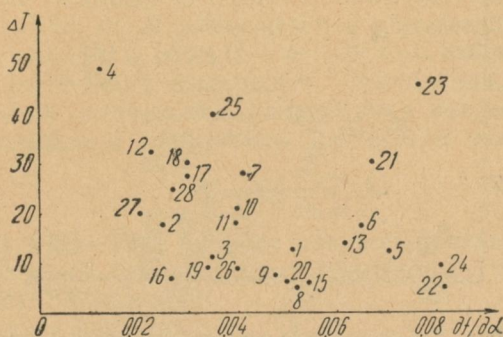


Рис. 1. Соотношение тепловой аномалии ΔT и градиента яркости $\left(\frac{\partial f}{\partial \alpha}\right)_0$.

№ п/п	Название	Радиометрия			Фотометрия				
		β	λ	ΔT	β	λ	ρ_0	C	$\left(\frac{\partial f}{\partial \alpha}\right)$
1	Брюс	0°,4	1°,1	13°,3	0°,3	1°,2	0,094	1,175	0,0510
2	Триснеккер	3,6	4,1	17,9	3,7	3,9	0,154	1,195	0,0247
3	Кэли	15,1	3,9	11,3	15,0	4,3	0,126	1,175	0,0348
4	Дионисий	17,2	2,8	49,3	17,6	2,6	0,157	1,120	0,0124
5	Маскелайн	26,7	2,2	12,5	27,0	2,0	0,092	1,120	0,0707
6	Маскелайн	30,0	2,1	17,6	30,3	2,2	0,106	1,175	0,0649
7	Гамбар А	-18,7	1,0	27,9	-19,0	1,2	0,144	1,185	0,0411
8	Нет деталей	-20,2	0,0	5,0	-20,0	0,3	0,098	1,185	0,0519
9	Лансберг	-31,1	0,2	7,4	-31,2	0,3	0,109	1,175	0,0474
10	Кеплер	-38,0	8,1	21,1	-37,8	7,5	0,154	1,200	0,0399
11	Зюсс	-44,6	1,1	17,8	-44,5	1,1	0,075	1,120	0,0398
12	Зюсс	-44,7	4,4	32,4	-47,8	4,3	0,090	1,150	0,0229
13	Местинг	-5,8	-0,3	13,9	-6,0	-0,6	0,178	1,185	0,0615
14	Бонплан (дно)	-17,1	-7,9	7,3	-17,5	-7,8	0,131	1,195	0,0815
15	Лансберг	-26,1	0,0	6,0	-26,5	-0,4	0,122	1,195	0,0543
16	Нет деталей	-36,4	-2,2	6,8	-36,3	-2,3	0,077	1,100	0,0263
17	Флемстид	-44,3	-4,5	27,5	-44,0	-4,5	0,091	1,120	0,0298
18	Флемстид В	-43,7	-4,5	30,4	-44,0	-4,5	0,091	1,120	0,0298
19	Нет деталей	-45,8	-3,8	9,2	-46,0	-3,5	0,078	1,090	0,0339
20	Хоррокс	5,9	-4,0	6,4	6,0	-4,0	0,169	1,210	0,0503
21	Торричелли Т	29,2	-2,6	30,4	29,5	-2,7	0,095	1,125	0,0668
22	Вблизи Секки	43,5	-0,5	5,3	44,0	-0,5	0,117	1,210	0,0817
23	Мессье А	46,9	-2,0	46,0	47,0	-2,2	0,122	1,230	0,0764
24	Мессье В	48,0	-0,9	9,6	48,0	-1,0	0,104	1,210	0,0811
25	Тихо	—	—	40,0	11,3	-43,0	0,205	1,230	0,0352
26	Кеплер	—	—	9,0	37,8	7,5	0,197	1,200	0,0400
27	Коперник	—	—	20,0	-20,0	9,0	0,158	1,210	0,0205
28	Аристарх	—	—	25,0	47,1	23,6	0,216	1,140	0,0270

Наличие корреляционного соотношения между интенсивными тепловыми аномалиями и различием градиента яркости указывает

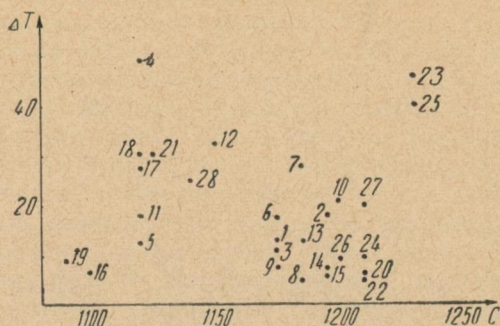


Рис. 2. Соотношение тепловой аномалии ΔT и показателя цвета $C = \frac{p_{кр}}{p_c}$.

на то, что в данном случае существенное влияние могут оказывать такие свойства реголита, как размер частиц и пористость. Расчеты, проведенные в работе [5], подтверждают такую возможность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sinton W. «Lowell obs. Bull», 1960, vol. 5, p. 25—26.
2. Saari J. M., Shorthill R. W. «Nature», 1965, vol. 205, № 4975, p. 464—465.
3. Барабашов Н. П., Езерский В. И. О различии микрорельефа отдельных участков лунной поверхности. — «Вестник Харьк. ун-та», № 4. Астрономия, вып. I, 1964, с. 22—42.
4. Shorthill R. W., Saari J. M. «Adv. astr. astroph». 1972, vol. 9, p. 149—201.
5. Reichman I. «AIAA Paper», 1968, № 746, 7p.

УДК 523.46

М. Ф. ХОДЯЧИХ, канд. физ.-мат. наук

О ВОЗДЕЙСТВИИ ТИТАНА НА АТМОСФЕРУ САТУРНА

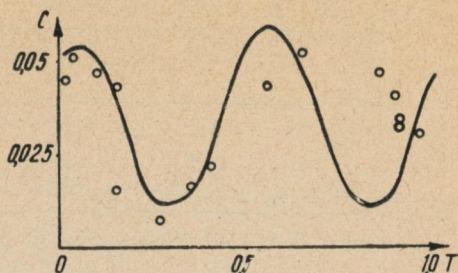
Корреляция изменений оптических характеристик Юпитера с положением ИО на орбите рассматривалась неоднократно [1, 2] на основе экспериментального материала разных наблюдателей. В различные периоды наблюдений такая зависимость обнаруживается с достаточно большой достоверностью. Планеты-гиганты находятся на больших расстояниях от Солнца, что приводит к значительному увеличению энергетического соотношения между приливными силами и солнечной инсоляцией. На Юпитере это соотношение лучше, чем для Земли, примерно в 300 раз. На Сатурне наибольшие приливы создает спутник Титан. Для системы Сатурн—Титан это соотношение лучше, чем для Земли, в 70 раз. Хотя оно меньше, чем для Юпитера, но все же достаточно велико и можно надеяться обнаружить зависимость оптических харак-

теристик Сатурна от положения Титана на орбите по небольшому ряду наблюдений.

Для этой цели мы воспользовались результатами спектрофотометрических наблюдений Сатурна, выполненных В. Д. Круговым в 1968—1969 гг. В распределении отражающей способности Сатурна по спектру в области $\lambda \approx 0,38$ мкм наблюдается максимум ультрафиолетового поглощения. Поэтому мы выбрали в качестве основной оптической характеристики величину логарифма отношения альbedo в длинах волн 0,48 и 0,38 мкм — C :

$$C = \lg \frac{A_{0,48}}{A_{0,38}}.$$

В период 1968—1969 гг. были получены и обработаны спектры в течение 25 ночей при различных ориентациях щели на диске Сатурна [3]. Наиболее многочисленны наблюдения при расположении щели на центральном меридиане (разрез № 3), на восточном (№ 2) и западном (№ 4) лимбе — от 14 до 16 ночей. Для этих разрезов были рассчитаны корреляционные функции показателя цвета C и вертикальной составляющей приливообразующего ускорения по методике, описанной в [2]. Экстремумы корреляционных функций наблюдаются при смещениях по фазе $\Delta\varphi$, приведенных в таблице. В этой таблице также приведены экстремальные значения коэффициента корреляции и доверительные полуинтервалы $\gamma\Delta r$ при надежности 0,95 для каждого разреза.



Зависимость показателя цвета C от фазы Титана.

Как видно из таблицы, для разреза № 3 (центральный меридиан) корреляция обнаруживается довольно уверенно:

$r = 0,76 \pm 0,21$. На рисунке показано значение показателя C (разрез № 3) в зависимости от доли периода, протекшей от верхнего соединения Титана с Землей. Сплошная кривая — зависимость приливообразующего ускорения от фазы спутника в согласованном масштабе и смещенная по оси абсцисс на 21° (таблица). Для разрезов № 2 и № 4 корреляция обнаруживается менее уверенно. Возможно, здесь сказались ошибки наведения щели на край диска Сатурна или какие-либо реальные физические процессы в атмосфере планеты.

К сожалению, один и сравнительно небольшой ряд наблюдений не позволяет сделать надежных выводов о характере и природе кратковременных изменений в атмосфере Сатурна, однако, проведенный анализ и его результаты могут служить указанием на

возможность протекания в атмосфере планеты процессов, зависящих от гравитационных сил. Для выявления причин подобной корреляции желательно проведение параллельных измерений различных оптических характеристик Сатурна, например, коэффициентов яркости в различных участках спектра и эквивалентных ширин полос поглощения. Только анализ такого материала позволит выяснить характер процессов, зависящих от положения Титана на орбите.

Разрез № 2, $n = 15$

$\Delta\varphi$	5°	95°	185°	275°
r	+0,66	-0,66	+0,67	-0,69
$\gamma\Delta r$	0,32	0,32	0,30	0,30

Разрез № 3, $n = 16$

$\Delta\varphi$	21°	111°	201°	291°
r	0,76	-0,76	0,76	-0,77
$\gamma\Delta r$	0,21	0,21	0,21	0,21

Разрез № 4, $n = 14$

$\Delta\varphi$	16°	106°	196°	286°
r	0,55	-0,52	0,49	-0,52
$\gamma\Delta r$	0,41	0,43	0,45	0,43

По-видимому, в атмосфере Сатурна условия конденсации какого-то агента зависят от приливообразующей силы, т. е. меняется количество аэрозоля определенной природы, отличающегося по оптическим свойствам от основной массы аэрозоля.

На каком уровне расположен слой этого аэрозоля, какова его природа и сколько его в атмосфере Сатурна — на эти вопросы можно ответить, только имея достаточно частые наблюдения различных оптических характеристик планеты в течение достаточно продолжительных интервалов времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ходячих М. Ф. О некоторых особенностях атмосферы Юпитера. — «Вестник Харьк. ун-та», 1969, № 34, *Астрономия*, вып. 4, с. 71—78.
2. Ходячих М. Ф. О воздействии Ио на атмосферу Юпитера. — «Вестник Харьк. ун-та», 1974, № 8, *Астрономия*, вып. 9, с. 33—38.
3. Кругов В. Д. Распределение энергии в коротковолновой области спектра для различных участков диска Сатурна. — «Астрономия и астрофизика», 1971, вып. 14, с. 23—33.

СОДЕРЖАНИЕ

Павленко П. П. Оптический центр и наклон пластинки короткофокусного астрографа Цейсса	3
Павленко П. П. Исследование объектива короткофокусного астрографа Цейсса	9
Кузьменко К. Н., Плужников В. Х. О влиянии «ошибки вечера» на определение прямых восхождений ФКСЗ	14
Зуев Н. Г., Кирпатовский В. М., Шутьева Р. М. Исследование влияния средней системы инструмента на систему дифференциального каталога прямых восхождений 1355 ярких звезд в зоне $+30 - +90^\circ$	17
Ванцан А. Ф., Егоров А. Д., Рытова З. А. Алгоритм задачи определения параметров кривой фототока при наблюдениях на пассажном инструменте	20
Езерская В. А., Езерский В. И., Лаврова Н. П., Псарев В. А. Детальная фотометрия лунной поверхности по фотографиям АМС «Зонд-8»	24
Стародубцева О. М. Спектральный ход контраста темных образований на Венере	37
Акимов Л. А., Лупишко Д. Ф., Лупишко Т. А. Результаты фотоэлектрических наблюдений Марса в противостояние 1973 г.	45
Грецкий А. М., Дудинов В. Н. Повышение пространственного разрешения на спектрограммах Сатурна методами численной линейной фильтрации. I	53
Евсюков Н. Н. О колориметрическом представлении лунных спектрофотометрических измерений	61
Александров Ю. В., Литвинов В. М. Условия проведения астрономических наблюдений с поверхности Марса	70
Александров Ю. В., Куличкин В. П. К вопросу о радиационном режиме в околопланетном пространстве	76
Езерский В. И., Плахотниченко В. А. О соотношении горячих пятен лунной поверхности и фотометрических неоднородностей	81
Ходячих М. Ф. О воздействии Титана на атмосферу Сатурна	84

ВЕСТНИК
ХАРЬКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 129

Астрономия

Выпуск 10

Редактор *А. П. Гужва*
Технический редактор *Г. П. Александрова*
Корректор *М. Ф. Христенко*

Сдано в набор 12/XII 1974 г. Подписано в печать 27/VIII 1975 г.
Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 3. Усл. печ. л. 5,75.
Уч.-изд. л. 6,1. Тираж 1000. Заказ 4-2542. БЦ 50323. Цена 42 коп.

Издательство издательского объединения «Виша школа» при
Харьковском государственном университете. 310003, Харьков,
ул. Университетская, 16.

Харьковская книжная фабрика «Коммунист» республиканско-
го производственного объединения «Полиграфкнига» Госком-
издата УССР, Харьков, ул. Энгельса, 11.

РЕФЕРАТЫ

УДК 522.61

Оптический центр и наклон пластинки короткофокусного астрографа Цейсса. Павленко П. П. «Вестник Харьковского университета. Астрономия», 1975, вып. 10, с. 19—25.

Отцентрирован объектив короткофокусного астрографа Цейсса ($F = 72$ см) по отношению к тубусу. Найден и сведен к минимуму ($1',5$) наклон пластинки к оптической оси.

Определено положение оптического центра экспериментальным методом до изменения наклона по 5 пластинкам с поворотом их на 180° (точность $\pm 0,2$ мм) и после этого (точность $\pm 0,1$ мм). Найдено, что оптическая ось проходит через центр оправы объектива с точностью до $\pm 0,05$ мм.

Табл. 4. Ил. 1. Библиогр. 9.

УДК 522.982

Исследование объектива короткофокусного астрографа Цейсса. Павленко П. П. «Вестник Харьковского университета. Астрономия», 1975, вып. 10, с. 25—30.

Исследованы сферическая aberrация, астигматизм и кривизна поля методом Гартмана. Исследована дисторсия с помощью звездных пар.

Объектив пригоден для астрометрических работ.

Табл. 5. Ил. 2. Библиогр. 3.

УДК 523.892

О влиянии «ошибки вечера» на определение прямых восхождений ФКСЗ. Кузьменко К. Н., Плужников В. Х. «Вестник Харьковского университета. Астрономия», 1975, вып. 10, с. 30—33.

Рассматривается вопрос о влиянии на определение прямых восхождений звезд неравномерного термического состояния разных частей меридианного круга.

Ил. 4. Библиогр. 7.

УДК 523.893

Исследование влияния средней системы инструмента на систему дифференциального каталога прямых восхождений 1355 ярких звезд в зоне $+30 - +90^\circ$. Зуев Н. Г., Кирпатовский В. М., Шутьева Р. М. «Вестник Харьковского университета. Астрономия», 1975, вып. 10, с. 33—36.

Сравниваются результаты дифференциальных наблюдений прямых восхождений ярких звезд, полученные с учетом и без учета системы вида α_8 Харьковского меридианного круга.

Табл. 2. Библиогр. 2.

УДК 522—617

Алгоритм задачи определения параметров кривой фототока при наблюдениях на пассажном инструменте. Ванцан А. Ф., Егоров А. Д., Рытова З. А. «Вестник Харьковского университета. Астрономия», 1975, вып. 10, с. 36—40.

Задача решается методом максимального правдоподобия. Согласно алгоритму числовые массивы упорядочиваются, определяются первые приближения параметров и после модификации экспериментальных данных определяются наиболее вероятные значения искомых параметров.

Библиогр. 5.

УДК 629.78:523.152.3

Детальная фотометрия лунной поверхности по фотографиям АМС «Зонд-8». Езерская В. А., Езерский В. И., Лаврова Н. П., Псарев В. А. «Вестник Харьковского университета. Астрономия», 1975, вып. 10, с. 40—52.

Приведены результаты детальных фотометрических исследований лунной поверхности по одному из снимков, полученных с помощью АМС «Зонд-8». Методом фотографической эквидисцитометрии изучен характер распределения вещества с различным альбедо на границе материк — Океан Бурь, указывающий на существенную роль процесса транспортировки вещества в пограничной зоне.

Табл. 2. Ил. 9. Библиогр. 9.

УДК 523.42

Спектральный ход контраста темных образований на Венере. Стародубцева О. М. «Вестник Харьковского университета. Астрономия», 1975, вып. 10, с. 52—60.

Измерения спектрограмм Венеры в спектральной области 3500—5000 Å показали следующее. Контраст темных образований на видимой поверхности Венеры достигает в разные даты значений 5—40% в области 3500—3900 Å, оставаясь здесь в среднем постоянным. Затем по мере увеличения длины волны контраст постепенно падает, обращаясь в нуль в среднем вблизи 4300 Å.

Табл. 2. Ил. 3. Библиогр. 18.

УДК 523.43

Результаты фотоэлектрических наблюдений Марса в противостояние 1973 г. Акимов Л. А., Лупишко Д. Ф., Лупишко Т. А. «Вестник Харьковского университета. Астрономия», 1975, вып. 10, с. 60—68.

Описана методика фотоэлектрических наблюдений Марса в противостояние 1973 г. Результаты представлены в виде таблицы звездных величин Марса в шести участках спектра в области 366—795 нм. Отмечено изменение интегрального блеска Марса вблизи противостояния, вызванное пылевой бурей, а также понижение отражательной способности Марса в 1973 г. в коротковолновой области спектра.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. 9.

УДК 523.45

Повышение пространственного разрешения на спектрограммах Сатурна методами численной линейной фильтрации. I. Грецкий А. М., Дудин В. Н. «Вестник Харьковского университета. Астрономия». 1975, вып. 10, с. 68—76.

Работа посвящена возможности повышения пространственного разрешения фотометрических разрезов спектрограмм Сатурна поперек дисперсии методами численной линейной фильтрации. Приведен алгоритм обработки, использующей фильтр, имеющий в частотном представлении вид:

$$D(\omega) = \frac{e^{-\frac{\omega^2 \sigma^2}{2}}}{e^{\omega^2 \sigma^2} + \frac{\gamma^2}{s^2(\omega)}}.$$

Проведен анализ возможностей применения линейной фильтрации.
Ил. 4. Библиогр. 4.

УДК 523.3

О колориметрическом представлении лунных спектрофотометрических измерений. Евсюков Н. Н. «Вестник Харьковского университета. Астрономия», 1975, вып. 10, с. 76—85.

В работе исследована возможность представления спектрофотометрических кривых лунных деталей в области спектра 0,3—1,1 мкм при помощи системы трех колор-индексов.

Ил. 7. Библиогр. 11.

УДК 523.43

Условия проведения астрономических наблюдений с поверхности Марса. Александров Ю. В., Литвинов В. М. «Вестник Харьковского университета. Астрономия». 1975, вып. 10, с. 85—91.

Рассмотрены вопросы рефракции света в атмосфере Марса (характерные значения угла рефракции $\approx 1''$ при $0^\circ \leq z \leq 80^\circ$), яркости дневного марсианского неба (характерные значения яркости 10^{-2} — 10^{-3} сб) и видимости звезд на дневном небе Марса.

Табл. 7. Библиогр. 6.

УДК 523.4

К вопросу о радиационном режиме в околопланетном пространстве. Александров Ю. В., Куличкин В. П. «Вестник Харьковского университета. Астрономия.» 1975, вып. 10, с. 91—96.

Рассмотрен вопрос об освещенности, создаваемой ортотропно отражающей сферой, на расстояниях, сравнимых с радиусом сферы, при произвольной ориентации освещаемой элементарной площадки. В четырех случаях получены конечные аналитические выражения для освещенности. В некоторых случаях освещенность, создаваемая планетой, может быть сравнима по величине с освещенностью Солнцем.

Табл. 1. Ил. 4.

УДК 523.34

О соотношении горячих пятен лунной поверхности и фотометрических неоднородностей. Езерский В. И., Плахотниченко В. А. «Вестник Харьковского университета. Астрономия», 1975, вып. 10, с. 96—99.

Проведено сопоставление горячих пятен лунной поверхности в экваториальной зоне $\beta = \pm 8^\circ$, $\lambda = \pm 50^\circ$ по данным Саари и Шортхилла со значениями нор-

мального альbedo, показателя цвета и производной фазовой функции вблизи нулевой фазы по данным харьковских фотометрических исследований. Выявлена корреляция между интенсивными горячими пятнами с $\Delta T > 15^\circ$ с малыми значениями $\left(\frac{\partial f}{\partial \alpha}\right)_0 < 0,048$, свидетельствующая о том, что в данном случае существенное влияние могут оказывать размер частиц и пористость реголита.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр. 5.

УДК 523.46

О воздействии Титана на атмосферу Сатурна. Ходячих М. Ф. «Вестник Харьковского университета. Астрономия», 1975, вып. 10, с. 99—101.

Обнаружена корреляция изменений ультрафиолетового поглощения на Сатурне с положением Титана на орбите. Для центрального меридиана коэффициент корреляции равен $0,76 \pm 0,21$ при надежности 0,95. Наибольшее поглощение наблюдается при прохождении Титана вблизи соединений.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. 3.

