

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ МАРСА, ПОЛУЧЕННЫЕ ПО ИЗМЕРЕННЫМ КОНТРАСТАМ

И. К. Коваль

После полярных шапок темные области марсианских морей являются наиболее заметными деталями планетного диска. Как правило, любой фотоснимок Марса, полученный в лучах с длинной волны больше 0.5μ , содержит области морей достаточно больших размеров. Многолетние наблюдения позволили установить, что контраст, создаваемый марсианскими морями с прилегающими материковыми участками, для разных морей неодинаков. Наибольшими контрастами обладают моря ареографических долгот $280 \div 60^\circ$, а наименьшими — моря интервала долгот $80 \div 240^\circ$. Кроме этого, иногда наблюдаются колебания контраста для одного и того же моря. На причинах, вызывающих эти изменения, остановимся ниже.

Таким образом, систематические наблюдения, проведенные в течение полного видимого оборота Марса (около 40 суток), могут дать полную развертку контраста материк — море по ареографической долготе. Повторный цикл измерений, что достигается наблюдениями в течение нескольких противостояний или продолжительными наблюдениями в период одного противостояния, может служить основой для выявления изменений на планете, связанных как с самими морями, так и с марсианской атмосферой.

В настоящей работе рассматривается вопрос об оптических свойствах атмосферы Марса на основе фотометрических данных о контрастах материк — море, полученных в последние годы автором и другими наблюдателями. Этот путь изучения атмосферы Марса был использован нами и ранее [1, 2]. Проведенные расчеты носили предварительный характер и показали, что метод контрастов в применении к изучению атмосферы Марса заслуживает внимания.

Фотометрические данные. Уже первые фотоснимки Марса, полученные Г. А. Тиховым, а затем Слайфером, Райтом и Россом, показали, что контраст материк — море плавно уменьшается к фиолетовому концу спектра и у 0.4μ , как правило, полностью исчезает. Некоторые наблюдатели специально занимались уста-

новлением спектральной границы исчезновения контраста материк — море, но пока мы можем указать только интервал длин волн, в котором заключена эта граница при обычном состоянии марсианской атмосферы (отсутствие так называемых фиолетовых прояснений). При пределе обнаружения контраста, равном 0,05, при фотометрических наблюдениях указанный интервал ограничен длинами волн 0,43, 0,47 μ . Однако, как показали фотометрические наблюдения в течение ряда противостояний Марса, в некоторые периоды контраст материк — море может быть уверенно измерен даже у 0,43 μ , где он достигает иногда 30% значения вблизи 0,7 μ . Наконец, в редких случаях контраст в фиолетовых лучах может достигать 80% значения в красных. Эти моменты принято называть моментами прояснений в фиолетовом слое марсианской атмосферы.

Сам по себе факт таких прояснений является очень важным, так как он, будучи связанным с атмосферной экстинкцией, позволяет сделать определенные заключения о ходе истинного контраста по спектру, а также о вариациях оптической толщины марсианской атмосферы, что проливает свет на природу так называемого фиолетового слоя.

Однако не каждое сообщение о достаточно хорошей видимости морей Марса в фиолетовых лучах следует воспринимать как факт увеличения прозрачности марсианской атмосферы.

Дело в том, что в красном участке спектра контраст материк — море очень сильно меняется по ареографической долготе. Например, в июне — августе 1956 г., как показали наши измерения [2] на всех ареографических долготах (измерения велись вблизи центра планетного диска), контраст меняется от 0,14 до 0,41 для 0,65 μ . Естественно, что при неизменной прозрачности марсианской атмосферы более темные в красных лучах моря могут повлечь за собой увеличение соответствующего контраста в фиолетовых лучах. Таким образом, если наблюдения ведутся в течение промежутка времени, не превышающего период видимого полного оборота Марса, т. е. без повторного наблюдения одних и тех же деталей, сделать уверенное заключение о прояснении атмосферы Марса очень трудно.

Наглядной иллюстрацией сказанному служит долготная развертка контраста, построенная по визуальным измерениям, выполненным в 1956 г. В. В. Шароновым (рис. 1). [3]. Период этих наблюдений охватывает все ареографические долготы с небольшим перекрытием на интервале долгот $L = 110 \div 150^\circ$. Подавляющее большинство наблюдателей отметило, что в сентябре

1956 г. в южном полушарии Марса возникла пылевая буря, которая заметно снизила наблюдаемые контрасты. Наши измерения [4] подтвердили это многочисленными определениями контраста в красных лучах с двухкратным перекрытием ареографических долгот.

Сразу же после наблюдений Марса в этот период в литературе появились сообщения о том, что в сентябре 1956 г. конт-

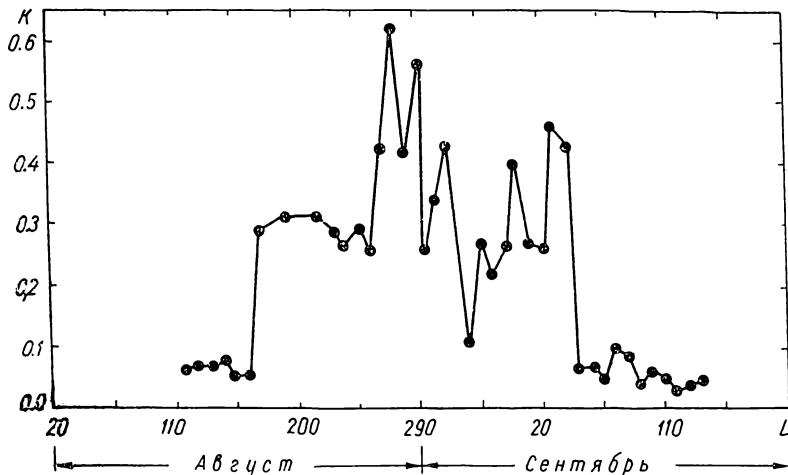


Рис. 1. Распределение контраста материк — море по ареографической долготе Марса в 1956 г. (измерения В. В. Шаронова с визуальным фотометром).

расты на Марсе резко снизились до почти полного исчезновения. Отсюда выводилось заключение о резком снижении прозрачности марсианской атмосферы в визуальных и красных лучах [5]. Между тем, как это хорошо видно на рис. 1, сентябрьский период наблюдений, проводившихся советскими наблюдателями (вторая половина сентября и позднее), приходится на интервал долгот с малым контрастом вообще. Поэтому речь может идти только о некотором снижении контраста, вызванном «пылевой мглой». Из рис. 1 видно, что в середине сентября контраст остался таким же, как и в первой половине августа, соответствующий тому же, что и в сентябре интервалу ареографических долгот. Наши измерения, на которых остановимся ниже, показывают, что для 0.65μ в указанные периоды контраст снизился в среднем в 1.5 раза (от 0.20 до 0.13) [6].

Таким образом, при изучении вариаций прозрачности марсианской атмосферы по измеренным контрастам материк — море необходимо иметь сведения об их средних значениях в красных лучах для всех ареографических долгот, что выводится на основании длительных наблюдений в течение ряда противоположных состояний.

Все сказанное, очевидно, необходимо иметь в виду также при изучении вариаций прозрачности фиолетового слоя и изменения альbedo отдельных морей.

Остановимся кратко на других факторах, которые в значительной степени сказываются на результате измерения контрастов на Марсе.

Одним из таких факторов, который всегда действует в сторону снижения (замывания) истинных значений контрастов, является атмосферное дрожание изображения. Если при визуальных наблюдениях почти всегда удается уловить момент, когда изображение планеты становится довольно четким, то при фотометрических наблюдениях, особенно с небольшими телескопами и с применением светофильтров, требующих времени регистрации в несколько секунд, результат измерения контрастов очень сильно зависит от турбулентного состояния земной атмосферы.

Как показали наши фотоэлектрические наблюдения в 1963 г. [7] и 1965 г. [8], ширина профиля диффузного изображения звезды, который в общем хорошо аппроксимируется функцией вида $\exp(-x^2/2\sigma^2)$, испытывает значительные колебания ($\sigma = 1 \div 2''$) при удовлетворительной устойчивости изображения по визуальным оценкам. Все полученные к настоящему времени данные о контрастах на Марсе основаны на измерениях либо с визуальным фотометром, либо по фотографическому материалу. И в том и в другом случае время регистрации значительно превышает частоту дрожания изображения, что неизбежно должно привести к замыванию истинного контраста.

Для примера мы вычислили контрасты K , являющиеся результатом воздействия гауссового контура с различными значениями параметра σ на различную по контрасту K_0 и размеру Δr_0 круглую деталь, расположенную в центре ламбертовского шара. Расчеты велись для значений K_0 , равных 0.1; 0.3 и 0.5, и для диаметра детали $\Delta r_0 = 0.05; 0.1; 0.2; 0.3 R \text{ } \delta$ со значениями $\sigma = 0.02; 0.05; 0.10; 0.15$ и $0.30 R \text{ } \delta$.

В табл. 1 приведены значения отношения K/K_0 ($0.1 \leq K_0 \leq 0.5$), которое, как оказалось, практически не зависит от K_0 для взятого нами набора значений этого параметра.

Как видно из этой таблицы, для детали с диаметром $0.2 R \delta$ и первоначальным контрастом $0.1-0.5$ «наблюдаемый» контраст при $\sigma=0.1 R \delta$ снижается на 30%, а при $\sigma=0.15 R \delta$ — почти в три раза. При радиусе Марса, равном $10''$, этот пример соответствует $\sigma=1''$ и $1''.5$, что близко к реальным условиям наблюдений. В этих условиях, например при $\sigma=1''$, для достижения точности измерения контраста не ниже 10% на диске радиусом $10''$ поперечник детали должен быть не меньше $3''.5$.

Таблица 1

Δr_0	σ				
	0.02	0.05	0.10	0.15	0.30
0.30	1.00	0.99	0.92	0.58	0.05
0.20	0.99	0.98	0.73	0.32	0.02
0.10	0.96	0.66	0.36	0.12	0.01
0.05	0.50	0.25	0.12	0.02	0.00

Таким образом, величина измеряемого на планете контраста сильно зависит от турбулентного состояния земной атмосферы (от σ), поэтому такого рода наблюдения должны сопровождаться дополнительными наблюдениями, способными дать некоторые критерии, необходимые для последующего анализа полученного материала. Без такого контроля измеренные вариации контрастов могут оказаться ложными.

Кроме указанного замывания контрастов атмосферное дрожание приводит к уширению детали, что хорошо видно из рис. 2, где показано изменение прямоугольного профиля детали, расположенной в центре ламбертовского шара при различных K_0 , Δr_0 и σ . При $\Delta r_0 < \sigma$ для рассматриваемых K_0 деталь становится практически незаметной.

К сожалению, мы еще не имеем достаточного наблюдательного материала по изменению параметра σ , характеризующего «атмосферный контур». Минимальное значение σ , измеренное по изображениям звезд на 70-сантиметровом рефлекторе ГАО АН УССР, было получено 6/7 апреля 1965 г. и равнялось $1''.1$ для зенитного расстояния звезды, близкого к 50° . Учитывая, что наблюдения иногда ведутся на меньших зенитных расстояниях, а угловой размер планеты для различных противостояний меняется от 14 до $25''$, можно принять в качестве среднего значения $\sigma=1''$. Тогда для условий, близких к реальным ($0.1 \leq K_0 \leq$

0.5 и $\Delta r_0 \approx 0.3 R \delta$), замывание контраста будет до 10—40%. В конкретных условиях наблюдений для оценки возможных погрешностей можно воспользоваться данными табл. 1. Например, в 1965 г., когда зенитное расстояние было близким к 50° ,

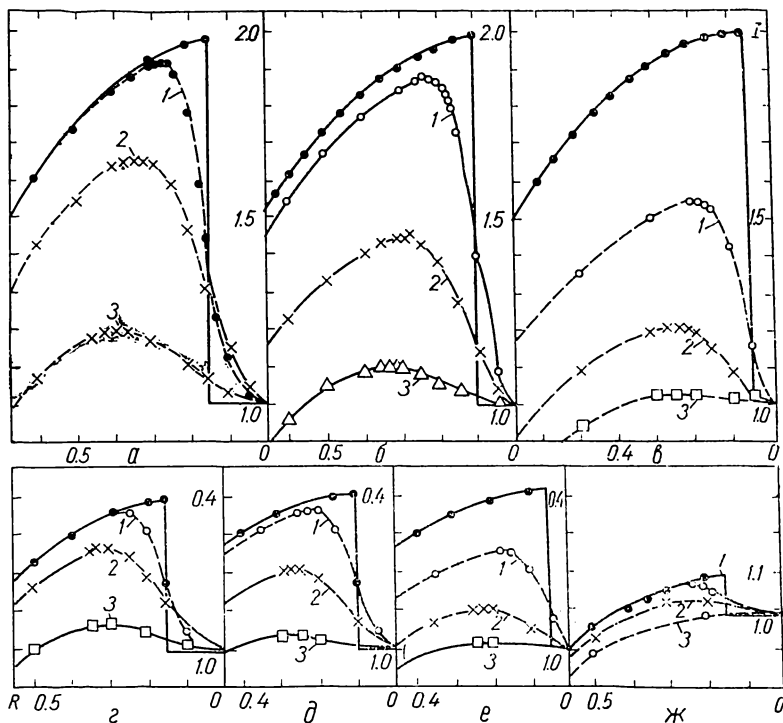


Рис. 2. Искажение заданных контрастов функцией $\exp(-x^2/\sigma^2)$ при $\sigma=0.05$ (1); 0.10 (2) и 0.20 $R\delta$ (3); $K_0=0.5$ и $\Delta r_0=0.3$ (а); 0.2 (б) и 0.1 $R\delta$ (в); $K_0=0.3$ и те же Δr_0 (г, д, е); $K_0=0.1$ и $\Delta r_0=0.3 R\delta$ (ж).

а угловой диаметр был равен $14''$, полученные значения σ , равные $1''.7$ (23/24 марта) и $1''.1$ (6/7 апреля), показывают, что для детали $\Delta r_0=0.3 R \delta$ контраст снизится на 80 и 40% соответственно.

Все эти расчеты убеждают в необходимости более строгого подхода к оценке результатов фотометрических наблюдений, особенно если речь идет об измерении контрастов с целью изучения различного рода изменений на Марсе. Это вовсе не озна-

чает, что полученный к настоящему времени огромный фотографический материал и те выводы, которые получены в результате его обработки, не заслуживают доверия. Многие марсианские моря имеют достаточно большие размеры, чтобы по их контрасту с примыкающими материками можно было получать достоверные данные. Не вызывает сомнения и факт временных изменений прозрачности атмосферы Марса, однако периоды фиолетовых прояснений имеют место, по-видимому, очень редко.

В 1956 г. во время великого противостояния прозрачность атмосферы Марса в фиолетовых лучах несомненно иногда менялась. Программа наблюдений предусматривала параллельно с фотографическими и визуальные наблюдения для последующего сравнения зарисовок с фотографическими изображениями (АО ХГУ, рефлектор — $10''.25$). За период с 7 июля по 21 октября 1956 г. Н. П. Барабашов выполнил сотни зарисовок планетного диска, пользуясь красным, зеленым и синим светофильтрами [4]. 27 сентября, а затем 21 октября была отмечена более или менее отчетливая видимость в синих лучах морей, расположенных вблизи ареографических долгот 70 и 200° . Эти моря, как мы отмечали выше, в красных лучах имеют небольшой контраст. В то же время за весь период наблюдений в синих лучах ни разу не наблюдалось одно из самых темных морей Марса — Большой Сырт.

21 апреля 1967 г., через пять дней после противостояния, моря, расположенные в интервале долгот $340-60^\circ$, хорошо были видны визуально с синим фильтром ($\lambda_{\text{макс}} = 0.45 \mu$) и едва заметны с фиолетовым ($\lambda_{\text{макс}} = 0.4 \mu$). Эти наблюдения проводились на 70-сантиметровом рефлекторе ГАО АН УССР Л. А. Бугаенко, А. В. Мороженко и автором в перерывах между сериями программных фотоэлектрических наблюдений. По-видимому, в этот период атмосфера Марса отличалась сравнительно высокой прозрачностью во всей видимой области спектра.

Однако все отмеченные визуально вариации контрастов на Марсе могут остаться незамеченными при фотометрических работах, за исключением таких из них, которые основаны на фотоматериале, полученном с экспозициями, составляющими сотые доли секунды.

Перейдем к краткому анализу фотометрических данных о контрастах, основанных на фотографических наблюдениях, и попытаемся использовать этот материал для суждения о степени прозрачности марсианской атмосферы.

Таблица 2

№ п/п	L, °	0.43 μ		0.53 μ		0.65 μ		0.75 μ
		K	K:K _{НК}	K	K:K _{НК}	K	K:K _{НК}	K
1	0	0.07	0.29	0.18	0.75	0.21	0.89	0.24
2		0.12	0.33	0.24	0.67	0.34	0.95	0.36
3		0.02	0.06	0.11	0.33	0.33	1.00	0.33
4	180	0.06	0.29	0.13	0.62	0.19	0.90	0.21
5		0.10	0.34	0.22	0.76	0.26	0.90	0.29
6		0.08	0.21	0.17	0.45	0.33	0.87	0.38
7		0.02	0.12	0.09	0.53	0.12	0.70	0.17
8	0	0.09	0.53	0.13	0.77	0.17	1.00	0.17
9		0.08	0.26	0.18	0.60	0.24	0.78	0.31
10		0.11	0.39	0.19	0.68	0.25	0.90	0.28
11	180	0.12	0.57	0.18	0.86	0.21	1.00	0.21
12		0.09	0.28	0.19	0.50	0.32	1.00	0.32
13		0.06	0.16	0.17	0.45	0.38	1.00	0.38
14		0.08	0.22	0.15	0.42	0.35	0.97	0.36
15	0	0.08	0.27	0.14	0.47	0.25	0.83	0.30
16		0.09	0.41	0.11	0.50	0.18	0.82	0.22
17		0.09	0.35	0.10	0.38	0.24	0.92	0.26
18	180	0.08	0.42	0.10	0.53	0.17	0.89	0.19
19		0.09	0.64	0.10	0.71	0.13	0.93	0.14
20		0.11	0.79	0.13	0.93	0.14	1.00	0.14
21		0.02	0.11	0.05	0.28	0.13	0.72	0.18
22	0	0.06	0.29	0.07	0.33	0.17	0.81	0.21
23		0.10	0.34	0.11	0.38	0.26	0.90	0.29
Среднее		0.08	0.33	0.14	0.56	0.23	0.90	0.26
1—8		0.07	0.26	0.17	0.63	0.24	0.90	0.27
9—14		0.09	0.30	0.18	0.60	0.29	0.94	0.31
15—23		0.08	0.39	0.10	0.50	0.19	0.90	0.21

Обозначим через ρ_1 , A_1 и ρ_2 , A_2 — коэффициенты яркости и альbedo материка и соответственно моря вблизи видимого центра планеты, ρ_0 — коэффициент яркости атмосферы Марса. Как известно [10], коэффициент яркости ρ при ламбертовском законе отражения от поверхности определяется формулой

$$\rho = \rho_0 + \frac{A}{1 - AC} M^2.$$

Так как обычно $AC \ll 1$, то можно записать

$$\rho = \rho_0 + AM^2.$$

Используя эту формулу, получим

$$\rho_0 = \rho_1 \left(1 - \frac{K}{K_0} \right)$$

и

$$M^2 = \frac{\rho_1}{A_1} \cdot \frac{K}{K_0},$$

где

$$K = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\delta_1} \quad \text{и} \quad K_0 = \frac{A_1 - A_2}{A_1}.$$

В качестве истинного контраста можно принять контраст, измеренный для 0.75 μ , где влияние атмосферы Марса, по-видимому, пренебрежимо мало, с некоторым коэффициентом, зависящим

от длины волны — $\frac{1}{c(\lambda)}$ и пользоваться формулами

$$\rho_0 = \rho_1 \left[1 - c(\lambda) \frac{K}{K_{\text{нк}}} \right], \quad (1)$$

$$M^2 = c(\lambda) \frac{\rho_1}{A_1} \cdot \frac{K}{K_{\text{нк}}}. \quad (2)$$

Как было отмечено выше, степень замывания контрастов, лежащих в интервале 0.1—0.5, остается одной и той же. Если сделать предположение (которое является не очень грубым), что истинные контрасты на Марсе для всех рассматриваемых длин волн не превышают 0.5, то интересующие нас отношения $K_\lambda/K_{\text{нк}}$ окажутся свободными от влияния атмосферного дрожания, так как в указанном участке спектра σ является величиной не селективной. Таким образом, ошибка в отношении контрастов определяется ошибкой фотометрического метода. При измерении указанных значений контраста метод фотографической фотометрии дает относительную погрешность, равную 20%.

В той же табл. 2 приведены отношения $K/K_{\text{нк}}$ и средние значения K и $K/K_{\text{нк}}$ для трех периодов, каждый из которых охватывает весь долготный пояс Марса. В табл. 3 приведены данные о контрастах, измеренных в 1954 г. [11] по фотографическому материалу, полученному автором на 20-сантиметровом рефракторе АО ХГУ. В свое время по этому материалу исследованиям подвергались 18 морей [12]. Однако для использования контрастов с целью изучения марсианской атмосферы мы выбрали шесть морей, которые два или три раза уверенно наблюдались вблизи центрального меридиана после полного оборота планеты. Для каждого моря указаны ареографические координаты изме-

Период наблюдений	0.46 μ			0.64 μ			$K_c : K_k$
	ρ_{CB}	ρ_T	K_c	ρ_{CB}	ρ_T	K_k	
Margaritifer Sinus ($\varphi = -12^\circ$, $L = 24^\circ$)							
1—6 июня	0.14	0.11	0.21	0.24	0.18	0.26	0.81
6—15 июля	0.14	0.11	0.21	0.24	0.17	0.29	0.72
12—21 августа	0.14	0.11	0.21	0.24	0.15	0.38	0.56
Aurorae Sinus ($\varphi = -15^\circ$, $L = 55^\circ$)							
30 июня—10 июля	0.13	0.11	0.15	0.24	0.19	0.21	0.71
7—15 августа	0.14	0.11	0.21	0.24	0.17	0.29	0.72
Syrtris Major ($\varphi = -10^\circ$, $L = 288^\circ$)							
9—18 июня	0.14	0.12	0.15	0.24	0.17	0.20	0.55
16—25 июля	0.14	0.11	0.21	0.24	0.14	0.42	0.50
23 августа—2 сентября	0.14	0.11	0.21	0.24	0.13	0.46	0.46
Mare Erythraeum ($\varphi = 20^\circ$, $L = 40^\circ$)							
30 июня—10 июля	0.13	0.11	0.15	0.22	0.15	0.32	0.47
7—15 августа	0.13	0.11	0.15	0.20	0.13	0.35	0.43
Sabaeus Sinus ($\varphi = -5^\circ$, $L = 350^\circ$)							
1—8 июня	0.14	0.11	0.21	0.24	0.18	0.25	0.84
8—18 июля	0.14	0.11	0.21	0.23	0.17	0.26	0.81
15—23 августа	0.13	0.10	0.23	0.24	0.16	0.33	0.70
Mare Cimmerium ($\varphi = -25^\circ$, $L = 210^\circ$)							
21 июня	0.14	0.11	0.21	0.24	0.18	0.25	0.84
25 июля—3 августа	0.13	0.10	0.23	0.21	0.15	0.29	0.73
29 августа—3 сентября	0.13	0.10	0.23	0.23	0.15	0.35	0.67

ряемого участка. Отметим, что наблюдения 1954 г. велись с использованием также зеленого и желтого светофильтров, однако для наших целей воспользуемся отношением контрастов только для синего светофильтра, где значения контрастов достаточно большие и в то же время максимум пропускания этого фильтра лежит в области спектра, в которой атмосфера Марса достаточно хорошо проявляется.

Оптические характеристики атмосферы. В работах [1, 2] отмечалось, что отношение $K/K_{нк}$ для наблюдений Марса в 1956 г. испытывает значительные колебания от даты к дате и для некоторых морей во всех участках спектра близко к единице.

Рассмотрим два возможных случая, связанные с этим.

1. Истинный контраст материк — море не зависит от длины волны и равен его значению, измеренному при 0.75μ . В этом случае все наблюдаемые вариации отношения $K/K_{\text{нк}}$ должны быть отнесены на счет колебаний прозрачности атмосферы. Из табл. 2 вытекает, что наиболее слабый ход отношения контрастов по спектру наблюдается для точки с номером 20, которая соответствует ареографической долготе $L \approx 280^\circ$. В принятом предположении этому моменту наблюдений соответствует наибольшая прозрачность марсианской атмосферы.

Т а б л и ц а 4

№ п/п	0.43 μ				0.53 μ				0.65 μ			
	$\rho_1=0.065,$ $A_1=0.053$		$\rho_2=0.120,$ $A_2=0.102$		$\rho_1=0.121,$ $A_1=0.115$		$\rho_2=0.175,$ $A_2=0.169$		$\rho_1=A_1=0.230,$ $\rho_2=A_2=0.278$			
	$\rho_0^{(1)}$	M_1	$\rho_0^{(2)}$	M_2	$\rho_0^{(1)}$	M_1	$\rho_0^{(2)}$	M_2	$\rho_0^{(1)}$	M_1	$\rho_0^{(2)}$	M_2
1	0.046	0.59	0.085	0.58	0.030	0.89	0.044	0.88	0.031	0.94	0.025	0.94
2	0.044	0.64	0.080	0.62	0.040	0.84	0.058	0.84	0.014	0.97	0.012	0.97
3	0.060	0.26	0.113	0.27	0.081	0.59	0.117	0.58	0.000	1.00	0.000	1.00
4	0.046	0.60	0.085	0.58	0.046	0.81	0.067	0.80	0.028	0.95	0.023	0.95
5	0.043	0.65	0.079	0.63	0.029	0.89	0.042	0.89	0.028	0.95	0.023	0.95
6	0.051	0.51	0.095	0.50	0.067	0.70	0.096	0.69	0.036	0.93	0.030	0.93
7	0.057	0.39	0.106	0.37	0.057	0.75	0.082	0.74	0.083	0.84	0.069	0.84
8	0.031	0.81	0.056	0.79	0.028	0.90	0.040	0.89	0.000	1.00	0.000	1.00
9	0.048	0.57	0.089	0.56	0.048	0.79	0.070	0.79	0.061	0.88	0.051	0.88
10	0.040	0.69	0.070	0.68	0.039	0.84	0.056	0.89	0.028	0.95	0.023	0.95
11	0.028	0.84	0.052	0.82	0.017	0.95	0.025	0.94	0.014	0.98	0.012	0.98
12	0.047	0.58	0.086	0.57	0.061	0.73	0.088	0.72	0.002	1.00	0.000	1.00
13	0.055	0.45	0.101	0.44	0.067	0.69	0.096	0.70	0.014	0.98	0.012	0.98
14	0.051	0.52	0.094	0.51	0.070	0.66	0.102	0.66	0.008	0.99	0.007	0.99
15	0.047	0.57	0.088	0.57	0.064	0.70	0.093	0.70	0.047	0.91	0.039	0.91
16	0.036	0.71	0.067	0.69	0.068	0.73	0.098	0.72	0.050	0.91	0.041	0.91
17	0.042	0.66	0.078	0.64	0.075	0.63	0.109	0.63	0.022	0.96	0.018	0.96
18	0.038	0.72	0.070	0.71	0.057	0.75	0.082	0.74	0.031	0.94	0.025	0.94
19	0.023	0.89	0.043	0.87	0.035	0.87	0.051	0.86	0.019	0.96	0.016	0.96
20	0.014	0.98	0.025	0.96	0.008	0.99	0.012	0.99	0.000	1.00	0.000	1.00
21	0.058	0.37	0.107	0.36	0.087	0.54	0.126	0.54	0.078	0.85	0.064	0.85
22	0.046	0.60	0.085	0.58	0.081	0.59	0.117	0.58	0.053	0.90	0.044	0.90
23	0.043	0.65	0.079	0.63	0.075	0.63	0.109	0.63	0.028	0.95	0.023	0.95
Среднее	0.043	0.62	0.080	0.61	0.053	0.75	0.077	0.76	0.029	0.94	0.024	0.94

Полагая в формуле (1) $c(\lambda)=1$, для этого момента определяем q_0 . Пользуясь таблицами [13], в предположении чистого рассеяния и сферической индикатрисы по найденному q_0 находим τ . Зная τ и пользуясь формулой (2), по таблицам [14]

определяем A_1 . Найденные таким образом значения A_1 приведены в табл. 4. В дальнейшем они использовались при вычислениях функции M по формуле (2) и для других периодов наблюдений. На рис. 4 представлена зависимость коэффициента яркости от длины волны для марсианского материка, расположенного в центре диска. Как видно из рисунка, распределение

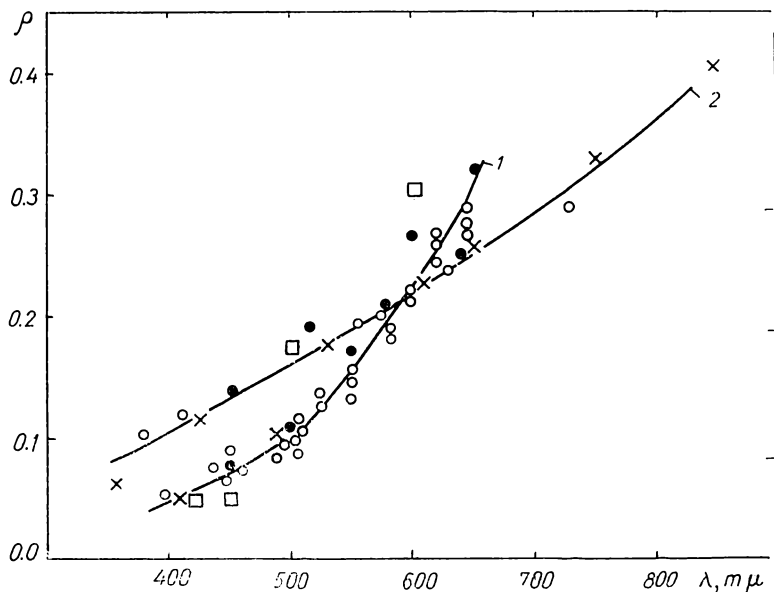


Рис. 4. Ход коэффициента яркости с длиной волны для материков Марса (1 — спектральные и фотоэлектрические данные, 2 — данные фотографической фотометрии).

энергии в спектре Марса, найденное по методу фотографической фотометрии с фильтрами, заметно отличается от спектральных и фотоэлектрических данных. Не останавливаясь на анализе причин этого расхождения, в дальнейших вычислениях мы пользовались как теми, так и другими значениями ρ . Окончательные данные для ρ_0 и M , приведены в табл. 4. В табл. 5 даны значения оптической толщины τ и вероятности выживания кванта ω для трех значений первого коэффициента в разложении индикатрисы рассеяния в ряд по полиномам Лежандра x_1 . При их определении мы пользовались средними значениями ρ_0 и M , приведенными в табл. 4, а также таблицами [13, 14].

По найденным значениям τ и ω затем были вычислены значения коэффициента яркости для края диска Марса Q_r ($r=0.85 R \odot$), которые приведены в табл. 6. Наблюдаемые значения Q_r на краю диска и окончательные значения параметров A_1 , x_1 , ω и τ даны в табл. 7 (индексы соответствуют табл. 4).

Таблица 5

x_1	0.43 μ				0.53 μ				0.65 μ			
	$\rho_1=0.065$		$\rho_2=0.120$		$\rho_1=0.120$		$\rho_2=0.175$		$\rho_1=0.230$		$\rho_2=0.278$	
	τ	ω	τ	ω	τ	ω	τ	ω	τ	ω	τ	ω
0.0	0.57	0.44	0.67	0.63	0.39	0.64	0.44	0.78	0.11	0.90	0.10	1.00
1.0	0.72	0.57	0.88	0.73	0.53	0.74	0.63	0.84	0.17	0.95	0.19	1.00
1.5	0.90	0.68	1.14	0.81	0.72	0.82	0.85	0.90	0.26	0.97	0.30	1.00

Таблица 6

x_1	0.43 μ		0.53 μ		0.65 μ	
	$(\rho_1)_r$	$(\rho_2)_r$	$(\rho_1)_r$	$(\rho_2)_r$	$(\rho_1)_r$	$(\rho_2)_r$
0.0	0.063	0.109	0.099	0.142	0.138	0.161
1.0	0.059	0.093	0.086	0.118	0.130	0.155
1.5	0.045	0.071	0.068	0.093	0.112	0.140

Таблица 7

Оптические параметры	0.43 μ		0.53 μ		0.65 μ	
	1	2	1	2	1	2
ρ_{Π}	0.065	0.120	0.120	0.175	0.230	0.278
ρ_r	0.049	0.092	0.084	0.115	0.128	0.152
A_1	0.053	0.102	0.115	0.169	0.230	0.278
x_1	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
ω	0.65	0.76	0.76	0.85	0.96	1.00
τ	0.76	1.05	0.55	0.68	0.19	0.21

2. Атмосфера Марса, за редким исключением, имеет неизменный во времени коэффициент прозрачности во всем рассматриваемом интервале $\lambda\lambda$. Тогда для подавляющего большин-

ства морей будем иметь $c(\lambda) = 1$. Иными словами, истинный контраст материк — море меняется по спектру.

В этом случае наблюдаемые колебания $K/K_{\text{ик}}$ говорят о различном распределении энергии в спектре каждого отдельного моря. Наименьшим убыванием наблюдаемого контраста к фиолетовому концу спектра, как и в первом случае, характеризуется море с номером 20. Небольшое различие между спектральными значениями контраста для этого моря отнесем за счет замивающего действия атмосферы Марса и положим $c(\lambda) = 1$. Тогда по найденным для этого моря q_0 и M (табл. 4) для атмосферы Марса в случае чистого рассеяния и сферической индикатрисы при значениях альбеда материка, приведенных в табл. 4, получим такие значения:

λ_{μ}	0.43	0.53	0.65
τ_1	0.035	0.022	0.008
τ_2	0.072	0.033	0.013

Точно так же, как и в первом случае, при этих расчетах мы пользовались таблицами [13, 14] и добивались согласия вычисленных значений q_r с наблюдаемыми значениями.

Найденные в этом случае оптические параметры атмосферы Марса позволяют определить в рамках принятых предположений усредненный по всем морям ход истинного контраста по спектру. Опуская простые вычисления, основанные на формуле (1), приведем окончательный результат для коэффициента

$\frac{1}{c(\lambda)}$:					
	λ_{μ}	0.43	0.53	0.65	0.75
	$\frac{1}{c(\lambda)}$	0.64	0.75	0.96	1.00

Обсуждение результатов и выводы. Мы рассмотрели две возможные причины, вызывающие наблюдаемые колебания контрастов на Марсе в видимой области спектра. В первом варианте данным наблюдений соответствуют беспорядочные значительные колебания прозрачности атмосферы Марса, во втором — некоторое различие в распределении энергии в спектре отдельных морей при постоянной прозрачности атмосферы. В первом случае атмосфера Марса должна иметь в фиолетовых лучах оптическую толщину, близкую к единице, и обладать

заметным истинным поглощением. Рассеяние света происходит, в основном, на аэрозолях ($x_1 \approx 1$). Во втором случае атмосфера Марса имеет оптическую толщину на порядок меньшую, чем в первом случае, при чистом рассеянии и сферической индикатрисе.

Обратимся к табл. 2, где приведены контрасты и их отношения, представляющие собой среднее для каждого полного оборота Марса. Как видно из таблицы, отношения $K/K_{\text{нк}}$ практически остались неизменными для всех трех периодов наблюдений, что можно рассматривать как свидетельство в пользу постоянства прозрачности атмосферы Марса в течение всего периода наблюдений в 1956 г. Отметим, однако, что данные последней строки табл. 2 относятся к периоду пылевой бури на Марсе, что вызвало уменьшение контраста во всех рассматриваемых участках спектра, кроме фиолетового (0.43μ), где это изменение могло остаться незамеченным, так как при малых измеренных контрастах в этих лучах точность измерений не велика.

Таким образом, тот факт, что в период пылевой бури отношение $K/K_{\text{нк}}$ сохранило свое значение, говорит в пользу того из рассмотренных нами вариантов, согласно которому атмосфера Марса в ее обычном состоянии (в отсутствие редких аномальных явлений) имеет небольшую постоянную во времени оптическую толщину. Наконец, рассматривая данные табл. 3 (последняя колонка), видим, что, за редким исключением, все марсианские моря, наблюдавшиеся в 1954 г. с двукратным перекрытием долгот, показывают постоянство (в пределах ошибок) отношения K_c/K_k для всего периода наблюдений. Наблюдаемое монотонное уменьшение контраста к концу периода наблюдений (к началу лета в южном полушарии Марса) вызвано, по-видимому, реальным уменьшением верхностных контрастов.

Все сказанное позволяет, по нашему мнению, признать, что наблюдаемые колебания рассмотренного нами отношения контрастов материк — море вызваны, главным образом, некоторым различием в ходе альбедо по спектру для отдельных морей Марса, а также существенным влиянием ошибок измерений. Некоторые из наблюдаемых колебаний самих контрастов не должны приниматься во внимание, так как в отсутствие строгого контроля над турбулентным состоянием земной атмосферы и при наличии значительных ошибок измерений эти колебания могут оказаться ложными.

Примем окончательно, что ход истинного контраста по спектру характеризуется средними значениями параметра $1/c(\lambda)$, приведенными в пункте 2 предыдущего параграфа. Тогда, взяв средние значения отношения $K/K_{\text{ик}}$ (табл. 2) без учета значений $K \leq 0.05$ для 0.43μ и пользуясь формулами (1) и (2) и таблицами [13, 14], получим данные, приведенные в табл. 8. Там же

Таблица 8

x_1	0.43 μ			0.53 μ			0.65 μ		
	τ	ω	ρ_r	τ	ω	ρ_r	τ	ω	ρ_r
0.0	0.17	0.77	0.08	0.14	0.85	0.10	0.04	1.00	0.14
1.0	0.27	0.83	0.07	0.23	0.85	0.09	0.07	1.00	-0.13
1.5	0.45	0.90	0.06	0.33	0.95	0.08	0.12	0.98	0.12

приведены вычисленные по найденным τ и ω значения ρ_r , которые сравнивались с наблюдаемыми. В этих расчетах для коэффициента яркости материков в центре диска мы использовали средние значения ρ_1 и ρ_2 , приведенные в табл. 4, так как к настоящему времени трудно отдать предпочтение какому-либо из результатов, приведенных на рис. 4.

Таблица 9

Оптические параметры	λ, μ			
	0.43 μ	0.53 μ	0.65 μ	0.75 μ
$K_{\text{вид}}$	0.12	0.17	0.26	0.28
$K_{\text{ист}}$	0.18	0.21	0.27	0.28
A_1	0.08	0.14	0.25	0.30
$\rho_{\text{ц}}$	0.09	0.15	0.25	0.30
ρ_r	0.07	0.10	0.14	0.16
ρ_0	0.032	0.028	0.010	0
τ	0.25	0.17	0.05	0
ω	0.80	0.85	1	—

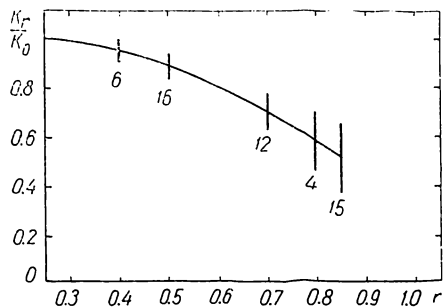


Рис. 5. Изменение контраста материков — море к краю диска Марса (1954, 1956 гг.).

Окончательные результаты для τ и ω при $0 \leq x_1 \leq 1$ вместе с другими оптическими характеристиками Марса приведены в табл. 9.

В заключение сформулируем выводы, которые вытекают из анализа наблюдаемых контрастов между материками и морями Марса и приведенных выше расчетов.

1. Фотометрические данные о контрастах материк — море, полученные в различных участках спектра, могут служить основой для определения оптических параметров атмосферы Марса. Колебания прозрачности марсианской атмосферы могут

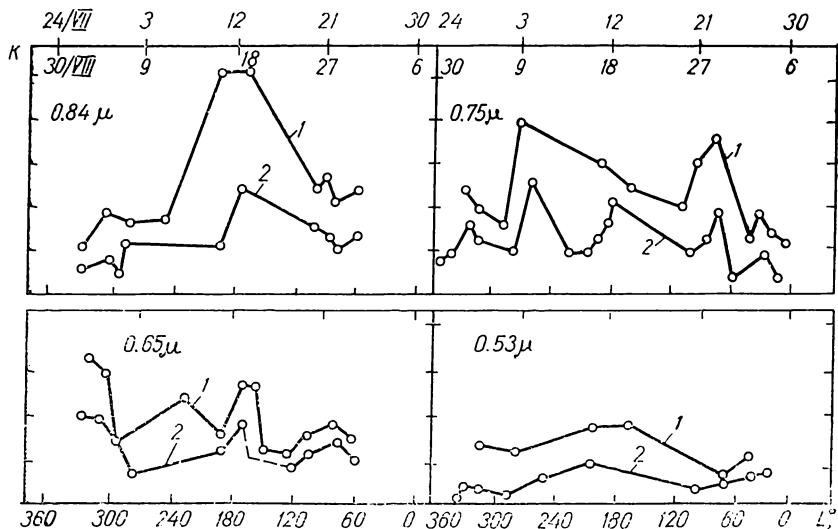


Рис. 6. Уменьшение контраста материк — море на Марсе, вызванное пылевой бурей в 1956 г. (1 — июль, 2 — август—сентябрь).

быть обнаружены только при наличии измеренных контрастов для одних и тех же морей.

2. Изучение измеренных колебаний отношения контрастов $K/K_{плк}$ объясняется, главным образом, различиями в ходе альбедо по спектру для отдельных морей, а также ошибками измерений.

3. Атмосфера Марса имеет, за редким исключением, неизменную прозрачность. Наблюдения, проводившиеся нами в 1954, 1956 и 1958 гг. по методу фотографической фотометрии, не обнаружили так называемых фиолетовых прояснений. В то же время при визуальных наблюдениях такие прояснения иногда наблюдались. Для получения количественных данных о проясне-

ниях необходимы фотографические наблюдения с экспозициями в сотые доли секунды, позволяющие частично избавиться от искажающего действия земной атмосферы, которое приводит к значительному замыванию истинных контрастов. При фотометрических наблюдениях, требующих времени регистрации в несколько секунд, необходимо вести строгий контроль над состоянием земной атмосферы. Полученное нами ранее [12] уменьшение в красных лучах контраста материк — море к краю диска Марса (рис. 5) также может оказаться ложным, так как искажающее действие земной атмосферы возрастает в том же направлении.

4. Атмосфера Марса имеет оптическую толщину, на порядок большую, чем это следует из спектральных данных по измерению полос CO_2 и характеризуется некоторым истинным поглощением в фиолетовой области спектра. Если предположить, что приведенные в табл. 9 значения параметра τ полностью обусловлены аэрозолями и по имеющимся значениям ω выделить рассеивающую компоненту, то получим радиус аэрозольных частиц порядка 10^{-5} см и количество частиц 10^{10} см $^{-2}$. Найденные по наблюдениям в 1956 г. контрасты для одних и тех же морей до и после пылевой бури (рис. 6) дали размер пылевых частиц $r \approx 1,5 \mu$ [6]. Приближенные расчеты показывают, что количество этих частиц равно 10^6 — 10^7 см $^{-2}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коваль И. К. — Изв. Комиссии по физике планет, 1961, 3, 76—84.
2. Барабашов Н. П., Коваль И. К. — АЖ, 37, 2, 1960.
3. Шаронов В. В. — В кн.: Результаты наблюдений Марса во время великого противостояния 1956 г. в СССР. Изд-во АН СССР, М., 1959, 155—164.
4. Барабашов Н. П., Коваль И. К. Фотографическая фотометрия со светофильтрами в 1956 г. Изд-во ХГУ, Харьков, 1959.
5. Сытинская Н. Н. — В кн.: Результаты наблюдений Марса во время великого противостояния 1956 г. в СССР, Изд-во АН СССР, М., 1959, 166—171.
6. Коваль И. К., Мороженко А. В. — АЖ, 1962, 39, 65.
7. Бугаенко Л. А., Бугаенко О. И., Коваль И. К., Мороженко А. В. — В кн.: Физика Луны и планет. «Наукова думка», К., 1964.
8. Бугаенко Л. А., Бугаенко О. И., Коваль И. К., Мороженко А. В. — В кн.: Физика Луны и планет. «Наукова думка», К., 1966.
9. Барабашов Н. П., Коваль И. К., Чекирда А. Т. — Изв. Комиссии по физике планет, 1960, 2, 36—40.
10. Соболев В. В. Курс теоретической астрофизики. «Наука», М., 1967, 239—255.
11. Коваль И. К. — АЦ ХАО, 1956, 15.

12. Коваль И. К. — АЖ, 1957, 34, 412—418.

13. Мороженко А. В., Яновицкий Э. Г. — В кн.: Вопросы астрофизики. «Наукова думка», К., 1965.

14. Мороженко А. В., Яновицкий Э. Г. Таблицы для расчета интенсивностей излучения атмосфер планет. «Наукова думка», К., 1964.

ON THE OPTICAL FEATURES OF THE MARTIAN ATMOSPHERE BY THE MEASURED CONTRASTS

I. K. KOVAL

Summary

The photometric data are analysed on the contrast between the Martian continents and maria measured for different parts of the spectrum. The optical parameters of the Martian atmosphere are determined. Some assumptions are made on the rate of the true contrast along the spectrum.

The results lead to the conclusion that the scattering atmosphere model with the optical thickness of approximately 0,2 in 0.43μ is in a good agreement with the observations.