

Наиболее яркие фиолетовые облака видны, как правило, на восточном и западном краях диска Марса при наблюдениях в коротковолновой области спектра. Впервые их обнаружил американский астроном Райт в 1924 г., и с тех пор эти образования наблюдаются систематически во многих обсерваториях мира.

В фотографическом атласе Слайфера [1] содержится много прекрасных снимков Марса, полученных в последние десятилетия. Уже этот материал позволяет сделать заключение, что фиолетовые облака видны не всегда. В период великого противостояния 1956 г., например, эти облака, за очень редким исключением, не появлялись вовсе. Однако в периоды большинства «рядовых» противостояний данные образования занимают до 10% площади видимого диска Марса и по яркости иногда сравниваются с полярными шапками.

Если изучение активности фиолетовых облаков в зависимости от гелиоцентрической долготы планеты сравнительно давно стало привлекать внимание астрономов, то фотометрические характеристики этих образований впервые получены только в 1958 г. [2], а затем в 1961 г. [3].

В сентябре—ноябре 1958 г. наличие фиолетовых облаков у краев экваториального диаметра диска Марса было обычным явлением. Иногда в синих и фиолетовых лучах была хорошо видна расположенная вдоль экватора светлая полоска, соединяющая интенсивные краевые облака.

В качестве примера на рис. 1 представлены фотометрические разрезы вдоль направления, параллельного экватору планеты и пересекающего фиолетовые облака, расположенные на восточном и западном краях изображения. Разрез проходит вдоль указанной светлой полоски, что позволяет оценить контраст, создаваемый этой полоской с ее окрестностью. Этот контраст очень слаб и для 3900 Å не превышает 5—7%. Так как облака располагались в широтном направлении довольно далеко от экватора (около  $\pm 10^\circ$ ), то разрез сравнения (полые кружки на рис. 1) строился в результате усреднения измерений вдоль двух направлений наклонных к экватору под углом около  $15^\circ$ .

В табл. 1 приведены результаты фотометрирования фиолетовых облаков в 1958 г. Относительные измерения абсолютизированы по данным наблюдений 1956 г. Поэтому в таблице указаны значения видимого альбедо участка планеты, расположенного вблизи облака  $Q_2$  и самого облака  $Q_1$ . Эти данные, полученные при различных значениях долготы центрального меридиана Марса, показывают, что фиолетовые облака никак не связаны с деталями марсианской поверхности, в частности с морями. В то же время средние данные (табл. 2) показывают, что облако, расположенное со стороны терминатора (заходящий край), имеет большую относительную яркость, чем то, которое находится со стороны лимба.

В 1960—1961 гг. по спектрофотометрическим наблюдениям были получены монохроматические разрезы, проходящие через облака Рай-

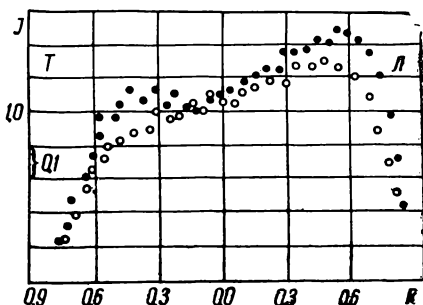


Рис. 1. Фотометрический разрез диска Марса вблизи экватора по фотографическим наблюдениям 1958 г. ( $\lambda_{\text{эф}} = 3900 \text{ \AA}$ ). Точки — разрез, проходящий через фиолетовые облака. Кружки — разрез сравнения (угол фазы  $21^\circ$ ).

та [3]. В [3] приведены подробные данные, содержащие распределение яркости вдоль экватора Марса, из которых видно, что облака начинают фотометрически ощущаться вблизи 4800 Å. На рис. 2 приведены три фотометрических разреза, проходящих через фиолетовые облака и показывающих увеличение контраста облако — фон в сторону коротких длин

Т а б л и ц а 1

Фотометрические характеристики фиолетовых облаков по наблюдениям 1958 г.

Дата	$\lambda$ , мк	Терминатор (W)			Лимб (O)		
		$q_1$	$q_2$	$\Delta q$	$q_1$	$q_2$	$\Delta q$
Октябрь, 8/9	0.40	0.102	0.077	0.025	0.118	0.110	0.008
„ 13/14	0.40	103	088	015	128	111	017
„ 14/15	0.40	085	050	033	128	112	016
„ 21/22	0.36	060	050	010	078	070	008
„ 28/29	0.36	058	048	010	067	054	012
Ноябрь, 4/5	0.40	107	103	004	125	115	010
„ 5/6	0.40	113	101	012	128	118	010
„ 9/10	0.40	103	077	026	119	110	009

волн. Как и в 1958 г., в этот период большую относительную яркость имело облако, расположенное на заходящем крае.

В 1963 г. яркость облаков Райта была сравнительно небольшая, зато в период противостояния 1965 г. [4] эти образования были довольно интенсивны и отчетливо вырисовывались на фотоэлектрических разрезах. И в этот период большую относительную яркость имело облако заходящего края. На рис. 3 приведены фотоэлектрические разрезы, полученные 6—7 апреля 1965 г. с фильтром (максимум пропускания

Т а б л и ц а 2

Средние фотометрические характеристики фиолетовых облаков по наблюдениям 1958 г.

$\lambda$ , мк	Терминатор (W)		Лимб (O)	
	контраст	$\Delta q$	контраст	$\Delta q$
0.36	0.16	0.010	0.13	0.09
0.40	0.17	0.18	0.11	0.012

около 3550 Å). Из рис. 3 видно, что контраст облако — материк на заходящем крае достигает 15%

Средние фотометрические характеристики фиолетовых облаков по наблюдениям 1958, 1961 и 1965 гг. таковы:

$\lambda$ , мк	0.36	0.40	0.45	0.50
$k, W$	0.20	0.20	0.17	0.04
$k, O$	0.13	0.10	0.07	0.03
$q_1, W$	0.060	0.075	0.126	0.137
$q_2, W$	0.050	0.067	0.118	0.128

Значения видимого альbedo облаков  $q_1$  и соседнего материка  $q_2$  показывают, что разность  $q_1 - q_2$  по спектру изменяется мало, хотя контраст быстро уменьшается к красному концу спектра.

Спектральная граница видимости облаков меняется в зависимости от их интенсивности (плотности). Обычно они начинают просматриваться около 4500 Å, но в моменты наибольшего развития граница ви-

димости существенно сдвигается к красному концу спектра, так что наличие облаков фотометрически ощутимо уже вблизи  $5000 \text{ \AA}$ , а их яркость около  $3500 \text{ \AA}$  иногда сравнивается с яркостью полярных шапок.

По наблюдениям 1958 и 1965 гг. в [5] вычислены средний размер  $n$  и число частиц в столбе облака. Предполагалось, что коэффициент преломления частиц равен 1.5 (аэрозоль земной атмосферы), распределение частиц по размерам подчиняется закону Юнге, а форма самих частиц сферическая. Найдено, что при среднем наблюдаемом контрасте облаков около  $4000 \text{ \AA}$ ,

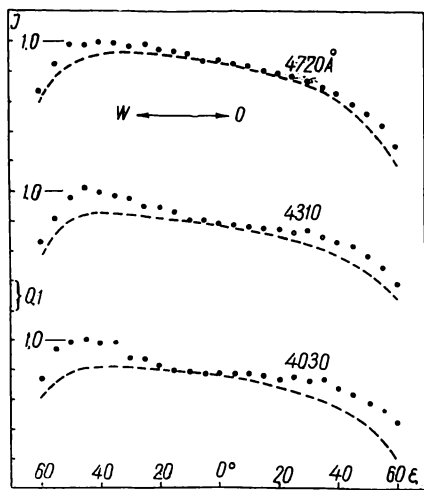


Рис. 2. Фотометрические разрезы диска Марса вблизи экватора по спектрограммам, полученным 6/7 января 1961 г. По оси абсцисс — углы отражения, по оси ординат — относительные интенсивности.

распределение частиц по размерам подчиняется закону Юнге, а форма самих частиц сферическая. Найдено, что при среднем наблюдаемом контрасте облаков около  $4000 \text{ \AA}$ ,

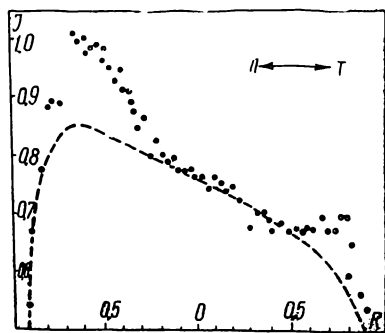


Рис. 3. Фотоэлектрический разрез диска Марса вблизи экватора, полученный 6—7 апреля 1965 г. Пунктир — разрез сравнения (материнки).  $\lambda_{0\phi} = 3550 \text{ \AA}$ .

равном 20% ( $\tau \approx 0,1$ ), радиус частиц  $r \approx 0,05 \text{ мк}$ , а число частиц порядка —  $10^{11} \text{ см}^{-2}$ .

В 1969 г. наблюдения Марса проводились в Шемахинской астрофизической обсерватории АН Азерб.ССР в касегреновском фокусе 2-метрового рефлектора. Н. Б. Ибрагимов получил несколько десятков спектрограмм Марса с дисперсией  $30 \text{ \AA/мм}$  на пластинках Кодак ОаF при масштабе изображений  $7''/\text{мм}$ . Наблюдения 24 апреля 1969 г. проводились при такой ситуации, когда щель спектрографа располагалась по хорде диска планеты и пересекала южную полярную шапку, прилегающий к ней материк и интенсивное облачное образование, расположенное вблизи терминатора в приэкваториальной части южного полушария. Полученные в эту дату спектрограммы использованы нами для спектрофотометрического изучения облачного образования. Фотометрирование спектрограмм проводилось как поперек, так и вдоль дисперсии в области  $3800\text{—}6600 \text{ \AA}$ .

На рис. 4 приведены поперечные фотометрические разрезы одной из спектрограмм, полученной при долготе центрального меридиана Марса около  $150^\circ$ . На этом рисунке по оси ординат отложены логарифмы интенсивности, по оси абсцисс — секунды дуги. Как видно из приведенных рисунков, облако начинает фотометрически ощущаться около  $4800$  и вблизи  $3800 \text{ \AA}$  по яркости сравнивается с южной полярной шапкой. Если же учесть эффект потемнения края (фазовый угол планеты в момент наблюдений около  $26^\circ$ ) и абсолютизировать полученные относительные измерения, пользуясь наблюдениями 1960—1961 гг. [3], то получим монохроматические значения альbedo облака и южной полярной шапки, представленные на рис. 5, б. Из этого рисунка видно, что облако имеет более низкое видимое альbedo, чем полярная шапка, и только вблизи  $3800 \text{ \AA}$  их альbedo сравниваются.

На рис. 5, *a*, где представлена яркость облака и полярной шапки по отношению к матерiku, видно, что в области 3800—4800 Å контраст шапка — материк остается постоянным, в то время как яркость облака весьма возрастает к фиолетовому концу спектра. Отметим также, что данные для фиолетового облака, наблюдавшегося 24 апреля 1969 г., снимались в точке максимума яркости (плотности) облака, хотя (как видно на рис. 4) с уменьшением длины волны вырисовывается структура этого образования. Очевидно, что в момент наблюдений вблизи терминатора планеты наблюдалась система фиолетовых облаков различной плотности.

Попытаемся использовать данные фотометрических наблюдений фиолетовых облаков для определения некоторых оптических параметров этих образований.

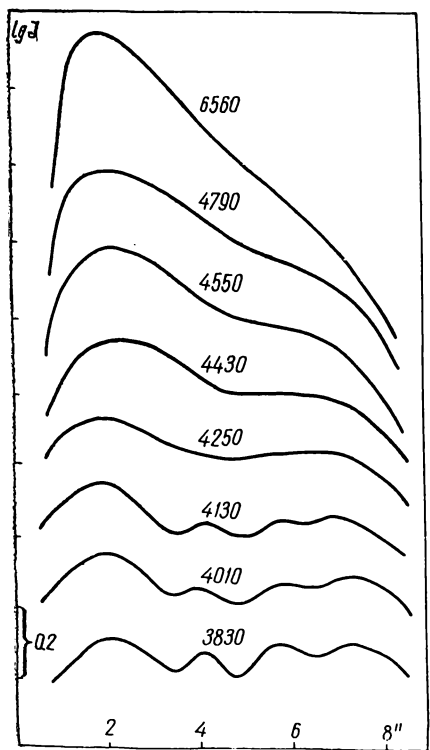


Рис. 4. Фотометрические разрезы по хорде диска Марса, пересекающей полярную шапку (слева) и облако (справа). Спектральные наблюдения 24 апреля 1969 г. на 2-метровом рефлекторе ШАО.

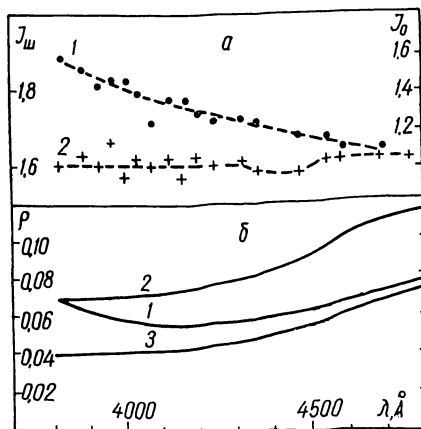


Рис. 5. Фотометрические характеристики фиолетового облака по спектральным наблюдениям 24 апреля 1969 г.

*a* — зависимость яркости облака (1) и южной полярной шапки (2) от длины волны по сравнению с материками, *b* — монохроматическое альbedo облака (1), шапки (2) и материков (3).

К сожалению, для этих целей невозможно использовать спектральные наблюдения, проведенные в 1969 г. в ШАО, так как при большом отрицательном склонении Марса в период наблюдений полученные спектрофотометрические характеристики облаков, по-видимому, сильно искажены влиянием атмосферной дисперсии. Отметим, что в каскадной системе 2-метрового рефлектора ШАО, к сожалению, не предусмотрено позиционное вращение спектрографа, которое позволило бы вести наблюдения при минимальном влиянии атмосферной дисперсии. Частично это замечание относится также и к наблюдениям 1960—1961 гг. Однако эти наблюдения проводились при достаточно большой высоте Марса над горизонтом и ограничивались минимальной длиной волны 0.4 мк.

Таким образом, для определения оптических параметров фиолетовых облаков мы воспользуемся данными наблюдений 1958, 1960—1961 и 1965 гг. Содержащиеся в [2—4] измеренные контрасты облако — соседний материк были пересчитаны на фазовый угол  $\alpha = 10^\circ$  и значение

косинуса угла отражения света, равное  $\zeta=0.71$ . Для этого мы воспользовались расчетными данными о распределении яркости вдоль экватора интенсивности Марса для различных  $\alpha$ , согласно [8].

В табл. 3, где приведены средние спектральные значения коэффициента яркости западного и восточного облаков, помещены также значения индикатрисы рассеяния света и оптической толщины для «сред-

Таблица 3

Средние спектральные значения коэффициента яркости западного и восточного облаков

$\lambda, \text{ мк}$	0.36		0.40		0.45		0.50	
	W	O	W	O	W	O	W	O
$\bar{r}_0$	0.095	0.083	0.108	0.087	0.128	0.112	0.150	0.131
$\bar{r}_a$	0.078	0.71	0.091	0.076	0.118	0.104	0.144	0.126
$\chi_a(\pi-\alpha)$	0.65		0.65		0.65		0.65	
$\tau_a$	0.064		0.048		0.038		0.030	

ней» атмосферы Марса, согласно [6]. Значение индикатрисы по данным [6] по спектру меняется очень мало. Поэтому нами принято для рассматриваемой области спектра среднее значение  $\chi_a(\pi-\alpha)=0.65$ .

Воспользуемся известным выражением для коэффициента яркости без учета многократного рассеяния:

$$\bar{r}(\eta, \zeta, \alpha) = \frac{\omega \chi(\pi - \alpha)}{4(\eta + \zeta)} \left[ 1 - e^{-\tau \left( \frac{1}{\eta} + \frac{1}{\zeta} \right)} \right] + f(\eta, \zeta) e^{-\tau \left( \frac{1}{\eta} + \frac{1}{\zeta} \right)}. \quad (1)$$

Здесь  $\omega$  — вероятность выживания кванта,  $\chi(\pi-\alpha)$  — индикатриса рассеяния света в атмосфере,  $\alpha$  — угол фазы планеты,  $\tau$  — оптическая толщина атмосферы,  $\eta, \zeta$  — косинусы углов падения и отражения света,  $f$  — коэффициент яркости собственной поверхности планеты.

Из двух таких уравнений, записанных для центра облака и точки сравнения (имеющих одни и те же значения  $\eta$  и  $\zeta$ ), исключая  $f(\eta, \zeta)$  и принимая  $\omega=1$ , получим:

$$e^{-\tau_0 c} = \frac{x_0 - \bar{r}_0}{x_a - \bar{r}_a + (x_0 - x_a) e^{-\tau_a c}}, \quad (2)$$

где

$$c = \frac{1}{\eta} + \frac{1}{\zeta}, \quad x = \frac{\chi(\pi - \alpha)}{4(\eta + \zeta)}.$$

Здесь индекс  $a$  — атмосфера,  $o$  — облако, причем оптическая толщина в выражении (1), записанном для центра облака, равна  $\tau = \tau_a + \tau_o$ .

Предположим, что форма частиц, входящих в состав облака, сферическая, а плотность распределения частиц по размерам определяется законом Юнге

$$dN = \frac{\bar{C}}{r^{\nu+1}} dr,$$

где  $dN$  — число частиц аэрозоля, радиусы которых заключены в пределах от  $r$  до  $r+dr$ ,  $\bar{C}$  — нормировочная постоянная, а  $\nu$  — так называемый параметр распределения Юнге. Как показали специальные исследования, закон Юнге хорошо оправдывается для земных аэрозолей (обзор литературы по этому поводу см. в [7]). В этом случае спектральный ход оптической толщины аэрозоля определяется соотношением  $\tau_\lambda = b\lambda^{-n}$ , где  $b$  — некоторая постоянная, а  $n = \nu - 2$ . Величина  $\nu$  лежит

в пределах  $2 < \nu < 6$ , причем чем больше  $\nu$ , тем значительнее роль в рассеянии света более мелких частиц.

Принимая для  $\lambda_1 = 0.36$  мк.  $\tau_{01} = \tau_{0\lambda}$ ,  $\kappa_{0\lambda} = \text{const}$  и  $\tau_{0\lambda} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_1}\right)^{-n} \tau_{01}$ , пользуясь уравнением (2), по данным табл. 4 определяли  $\tau_{01}$ ,  $n$  и  $\kappa_0$ . Результаты расчета на ЭВМ «Проминь» следующие:  $\kappa_0 = 0.15$  или  $\kappa_0(\pi - \alpha) = 0.77$ ,  $n = 1.9$  для западного и восточного облаков.

Для оптической толщины облаков получены следующие значения:

$\lambda$ , мк	0.36	0.40	0.45	0.50
$\tau_{0\lambda}$ , W	0.073	0.060	0.048	0.038
$\tau_{0\lambda}$ , 0	0.057	0.046	0.37	0.030

Полученные нами в рамках принятых предположений значения  $n = 1.9$  или  $\nu = 3.9$  говорят о большой роли мелкого аэрозоля, входящего в состав фиолетового облака.

Найденные нами средние для 1958, 1960—1961 и 1965 гг. значения  $\tau_{0\lambda}$  фиолетовых облаков являются, по-видимому, нижним пределом, так как атмосферное дрожание изображения планеты всегда уменьшает поверхностную яркость сравнительно небольших деталей диска. Так что измеренные нами контрасты облако — соседний материк, вероятнее всего, занижены. Кроме того, наблюдения 1969 г. дают, по-видимому, большую относительную интенсивность фиолетового облака, чем это имело место в 1958—1965 гг.

Таким образом, грубо можно принять для фиолетовых облаков Марса  $\tau$  (0.36 мк)  $\approx 0.1$  при  $\nu = 3.9$ . Сравнивая это значение  $\nu$  со средним значением  $\nu = 4.25$  для «однородной» атмосферы Марса [6], можно сделать вывод, что средний размер частиц в фиолетовом облаке в рамках принятых нами предположений близок к среднему размеру аэрозольных частиц в однородной атмосфере Марса. Естественно предположить, что фиолетовые облака представляют собой «сгустки» аэрозольных частиц, постоянно присутствующих в марсианской атмосфере и создающих известный эффект фиолетовой дымки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Slipper E. C. — Ph. St. of brigh. Pl., Lowell Obs., 1964.
2. Барабашов Н. П., Коваль И. К., Чекирда А. Т. — Изв. Комиссии по физ. пл., вып. 3, 1961.
3. Дидыченко Е. И., Коваль И. К., Мороженко А. В. — Изв. ГАО АНУССР, 1, 5, 1963.
4. Бугаенко Л. А., Бугаенко О. И., Коваль И. К., Мороженко А. В. — Физика Луны и планет. «Наукова думка», К., 1966.
5. Коваль И. К. Докт. дисс., К., 1968.
6. Мороженко А. В. — Астрон. журн., 1969, 46, 5.
7. Зусв В. Е. Прозрачность атмосф. для видимых и ИК-лучей. Изд-во «Советское радио», М., 1960.
8. Мороженко А. В., Яновский Э. Г. — Астрон. журн., 1971, 48.

#### ON THE VIOLET CLOUDS OF MARS

N. V. IBRANIMOV, I. K. KOVAL

#### Summary

Results are given of photometric investigations of Martian violet clouds based on observations carried out during 1958—1961, 1965 and 1969. Photometric data for the former three oppositions were obtained at the Astronomical Observatory of the Kharkov University and the Main Astronomical Observatory of the Ukrainian Academy of Sciences. In 1969 the observations were made with the 2-meter reflector of the Shemaha Observatory using a grating spectrograph (dispersion 30 Å/mm). Monochromatic albedo was determined for an intense cloud observed near the termination in the southern hemisphere on April 24, 1969. The values of optical thickness in this investigation permitted the Junge parameter ( $\nu = 3.9$ ) to be determined and a conclusion to be made that the violet cloud consists mainly of small particles.