

СПЕКТРАЛЬНАЯ ПРОЗРАЧНОСТЬ АТМОСФЕРЫ В САО АН СССР В 1974—1976 гг.

Т. А. Карташева, Н. М. Чунакова

Приведены результаты фотоэлектрических наблюдений спектральной прозрачности атмосферы в САО АН СССР, выполненные с октября 1974 г. по октябрь 1976 г. Отмечена корреляция между коэффициентами экстинкции, температурой и влажностью воздуха. Наблюдения показали, что атмосферная прозрачность в САО АН СССР выше, чем в КраО АН СССР и АИ АН Каз. ССР, а в отдельные ночи приближается к прозрачности на горе Майданак.

Results of photoelectric observations made during the period from October, 1974 to October, 1976 to study the spectral atmospheric transparency in SAO USSR AN are presented. A correlation is noted between the extinction coefficients, temperature, and air humidity. The observations have shown that the atmospheric transparency in SAO USSR AN is higher than that at CrAO USSR AN and AI AN Kaz. SSR, and on individual nights it is almost as good as on Maidanak mountain.

При обработке результатов фотоэлектрических наблюдений возникает необходимость учета поглощения, производимого земной атмосферой, и, следовательно, определения коэффициентов экстинкции. Однако задача получения этих коэффициентов представляет и самостоятельный интерес, поскольку они дают возможность судить о качестве атмосферы в месте наблюдения.

В настоящей работе обсуждаются результаты двухлетних исследований прозрачности земной атмосферы в САО АН СССР ($h=2070$ м), выполненных на телескопе «Цейсс-600».

Приводимые данные получены как побочные в ходе дифференциальных наблюдений переменных звезд, проводившихся чаще всего по одну сторону от меридиана. Методом Бугера оценивались средние за ночь коэффициенты, что дает возможность сделать общие заключения о качестве атмосферы, об изменении ее экстинкционных свойств в течение года, однако не позволяет сказать что-либо о стабильности атмосферных характеристик в течение ночи.

С октября 1974 по октябрь 1975 г. на телескопе были проведены фотоэлектрические наблюдения с фотометром конструкции Алексева—Штоля и 4 интерференционными фильтрами ($\lambda_{\text{макс}}=4500, 4850, 5000, 5600 \text{ \AA}$ с полушириной $\Delta\lambda=118, 114, 103$ и 131 \AA соответственно.) В 1976 г. эти наблюдения продолжены с использованием еще двух интерференционных фильтров ($\lambda_{\text{макс}}=4080$ и 4250 \AA и $\Delta\lambda=114$ и 105 \AA соответственно). Помимо этого, с целью расширения спектрального диапазона исследования в течение нескольких ночей февраля и июля 1976 г. на спектроэлектрофотометре конструкции Штоля осуществлена фотометрия нескольких стандартных звезд в девяти спектральных областях, охватывающих интервал длин волн от 3500 до 6000 \AA ($\Delta\lambda=60 \text{ \AA}$).

Полученные в ходе двух рядов наблюдений результаты приведены в табл. 1 и 2. В них указаны значения коэффициентов поглощения K_λ для каждой ночи, а также средние значения коэффициентов поглощения и коэффициентов прозрачности P_λ за 1974—1976 гг. и средние за ночь зна-

Т А Б Л И Ц А 1

Дата	Звезда (номер)	4080	4250	4500	4850	5000	5600	T, °C	B, %
10/11 X 1974	HD 184787	—	—	0.25	—	—	—	6	50
12/13 X	HD 184787	—	—	0.36	0.40	0.36	0.21	4	62
15/16 I 1975	HD 61497	—	—	0.50	0.30	—	0.27	-9	50
16/17 I	HD 19600	—	—	—	0.30	0.33	0.26	-5	27
16/17 I	HD 214259, HD 214220	—	—	—	—	0.30	—	—	—
18/19 I	То же	—	—	—	—	0.19	—	-4	33
19/20 I	HD 61497	—	—	—	0.31	0.22	0.13	-4	30
19/20 I	HD 214259, HD 214220	—	—	—	—	0.27	—	—	—
20/21 I	То же	—	—	—	—	0.28	—	-5	27
20/21 I	HD 19600	—	—	0.40	0.31	0.29	0.16	—	—
3/4 III	HD 214259, HD 214220	—	—	—	—	0.19	—	-10	21
4/5 III	То же	—	—	—	—	0.24	—	-5	35
4/5 III	HD 61497	—	—	—	—	—	0.26	—	—
6/7 III	HD 61497	—	—	—	—	—	0.20	-6	46
6/7 III	HD 19600	—	—	—	0.16	0.17	0.17	—	—
7/8 III	HD 61497	—	—	0.25	0.31	0.31	0.21	-2	48
7/8 III	HD 214259, HD 214220	—	—	—	—	0.24	—	—	—
21/22 V	βCrB	—	—	—	0.23	0.33	—	7	56
21/22 V	HD 214259, HD 214220	—	—	—	—	0.28	—	—	—
22/23 V	HD 215259, HD 214220	—	—	—	—	0.20	—	3	75
23/24 V	То же	—	—	—	—	0.25	—	3	76
26/27 V	βCrB	—	—	0.36	—	—	—	6	67
26/27 V	HD, 214259, HD 214220	—	—	—	—	0.24	—	—	—
27/28 V	То же	—	—	—	—	0.28	—	7	48
15/16 VI	» »	—	—	—	—	0.25	—	5	66
16/17 VI	» »	—	—	—	—	0.36	—	5	67
17/18 VI	» »	—	—	—	—	0.48	—	10	62
19/20 VI	» »	—	—	—	—	0.31	—	10	63
20/21 VI	» »	—	—	—	—	0.32	—	12	55
21/22 VI	» »	—	—	—	—	0.26	—	11	49
13/14 VII	» »	—	—	—	—	0.28	—	11	69
14/15 VII	» »	—	—	—	—	0.25	—	13	55
25/26 VII	HD 252951	—	—	0.34	0.29	—	—	8	81
26/27 VII	То же	—	—	0.19	—	—	—	11	62
27/28 VII	» »	—	—	0.32	0.33	—	—	13	52
29/30 VII	HD 214259, HD 214220	—	—	—	—	0.44	—	10	47
31/1 VIII	HD 152951	—	—	0.33	—	—	—	9	49
31/1 VIII	HD 214259, HD 214220	—	—	—	—	0.43	—	—	—
19/20 X	То же	—	—	—	—	0.29	—	4	37
20/21 X	» »	—	—	—	—	0.37	—	5	39
21/22 X	HD 192907	—	—	0.26	0.29	—	—	5	34
21/22 X	HD 214259, HD 214220	—	—	—	—	0.32	—	—	—
22/23 X	HD 192907	—	—	0.33	0.30	0.26	0.20	6	35
22/23 X	HD 214259, HD 214220	—	—	—	—	0.29	—	—	—
28/29 X	То же	—	—	—	—	0.39	—	0	38
29/30 X	» »	—	—	—	—	0.25	—	-2	26
11/12 II 1976	HD 65301	0.37	—	0.27	—	0.33	—	-15	52
13/14 II	То же	0.52	0.43	0.39	0.33	0.34	0.29	-13	48
14/15 II	» »	—	0.44	0.27	0.28	0.27	0.31	-12	40
15/16 II	» »	0.34	0.31	0.29	0.25	0.26	0.20	-10	26
7/8 III	» »	0.44	0.45	0.34	0.31	0.35	0.20	-7	56
8/9 III	» »	0.53	0.43	0.32	0.27	0.31	0.21	-5	50
14/15 IV	» »	0.60	0.64	0.57	0.47	0.51	0.41	0	34
22/23 IV	» »	0.53	0.51	0.41	0.37	0.45	0.30	0	75

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Дата	Звезда (номер)	4080	4250	4500	4850	5000	5600	T, °C	B, %
30/31 VII	β CrB	0.43	0.39	0.31	0.30	0.32	0.25	13	55
10/11 VIII	β CrB	0.46	0.41	0.39	0.34	0.34	0.21	6	54
10/11 IX	HD 184787	0.37	0.39	0.32	0.27	0.22	0.17	8	30
11/12 IX	То же	0.46	0.42	0.35	0.37	0.34	0.17	9	32
12/13 IX	» »	0.62	0.72	0.66	0.47	0.46	0.34	10	55
4/5 X	HD 214259	—	—	—	—	0.29	—	-1	65
6/7 X	HD 214259	—	—	—	—	0.40	—	3	35
12/13 X	HD 184787	0.36	0.33	0.33	0.26	0.26	0.28	8	39
13/14 X	HD 184787	0.49	0.40	0.41	0.46	0.38	0.23	8	35
Среднее K_λ		0.465	0.45	0.35	0.32	0.31	0.23		
Среднее P_λ		0.65	0.66	0.725	0.745	0.75	0.81		

ТАБЛИЦА 2

Дата (1976 г.)	Звезда	3500	3700	3900	4200	4500	5000	5200	5600	6000
17/18 II	λ UMa	—	1.00	0.75	0.45	0.40	0.45	0.45	0.30	—
18/19 II	γ Gem	1.05	0.80	0.56	0.35	0.28	0.23	0.13	0.16	0.26
5/6 VII	τ Her	1.35	0.99	0.82	0.56	0.44	0.40	0.41	0.375	0.29
Среднее	K_λ	1.20	0.93	0.71	0.45	0.37	0.36	0.33	0.28	0.27
	P_λ	0.33	0.43	0.52	0.66	0.71	0.72	0.74	0.77	0.78

чения температуры и относительной влажности воздуха. Рис. 1 показывает изменение коэффициента поглощения с течением времени для шести длин волн. Усреднение данных для каждого месяца позволяет обнаружить некоторый ход в изменении коэффициентов поглощения со временем: он меньше в январе—марте, затем увеличивается до июля—августа. Сопоставление изменений температуры и относительной влажности воздуха за период наблюдений с изменением среднемесячных коэффициентов для всех 6 длин волн показало, что между ними существует четкая зависимость. Температура и влажность воздуха, так же как и коэффициенты поглощения, имеют минимальные значения зимой и пологий максимум — летом.

Известно, что при прохождении через земную атмосферу свет не только ослабляется, но и испытывает покраснение. Изменение коэффициента прозрачности P_λ ($K_\lambda = -2.5 \lg P_\lambda$) с длиной волны для двух рядов наблюдений показано на рис. 2, на нем же для сравнения приведены: 1 — ход релеевского коэффициента прозрачности P_R с λ на высоте $h=2070$ м (коэффициент вычислен для чистого сухого воздуха с $t=2^\circ\text{C}$, $N=2.04 \cdot 10^{19}$, $p=596$ мм рт. ст.); 2 — ход релеевского коэффициента прозрачности $P_{R+\text{оз}}$ для чистой сухой атмосферы с учетом поглощения слоем озона толщиной 0.26 см [1]; 3 — стандартная кривая прозрачности $P_{\text{ст}}$ ($h=2000$ м) [1]; 4 — ход коэффициента прозрачности, полученный по наблюдениям в июне—июле 1963 г. в пос. Звездном, расположенном в 6 км от САО АН СССР [2]; 5, 6 — ход коэффициента прозрачности для КраО АН СССР ($h=670$ м) [3] и АИ АН ССР ($h=1400$ м) [4]. Численные значения коэффициентов P_R , $P_{R+\text{оз}}$, коэффициента поглощения озона $\alpha_{\text{оз}}$ и $P_{\text{ст}}$ приведены в табл. 3.

Из рис. 2 видно, что наблюдаемые кривые спектральной прозрачности не только ниже той, которая обусловлена чисто релеевским рассеянием на молекулах, но и стандартной для $h=2000$ м, учитывающей среднюю

запыленность атмосферы, поглощение водяными парами и озоном. Усредненные за два года коэффициенты оказались также ниже полученных для пос. Звездного ($h=2300$ м) летом 1963 г.

На рис. 3 показан ход с длиной волны коэффициента P_λ для различных сезонов (наблюдения с интерференционными фильтрами). Если макси-

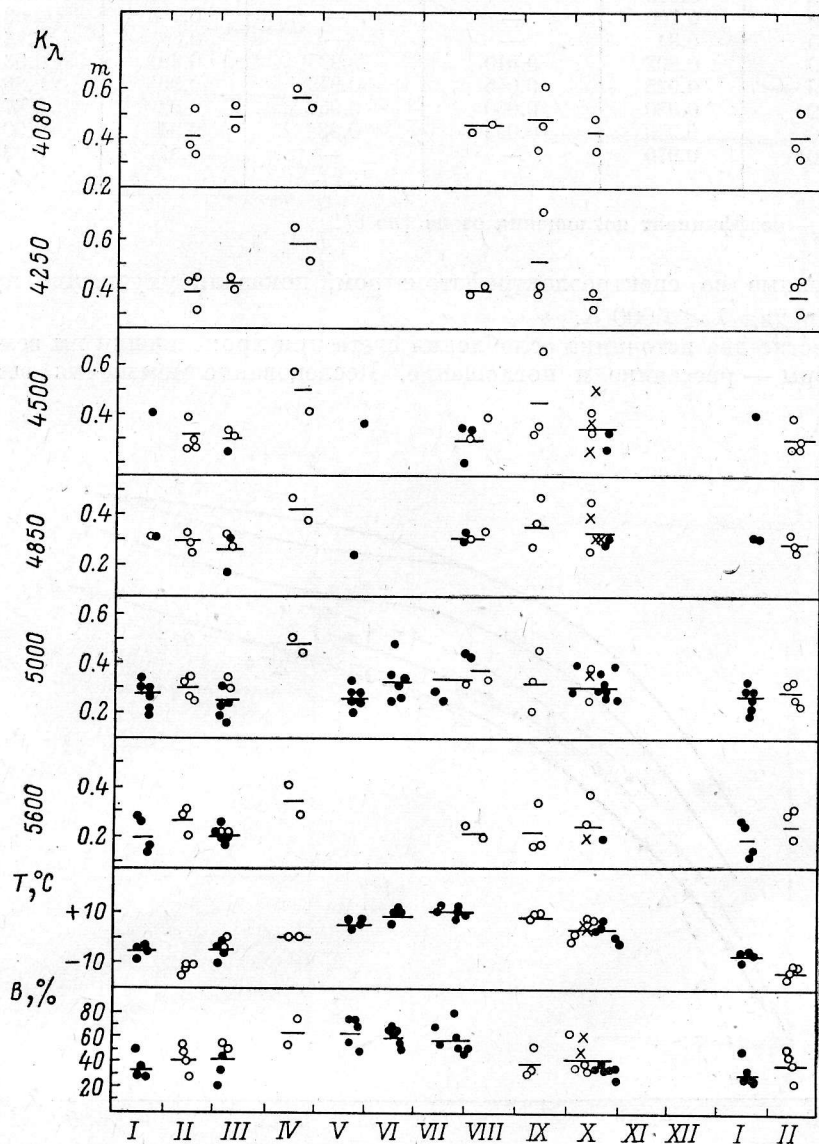


Рис. 1. Изменение коэффициентов поглощения для шести длин волн (наблюдения с интерференционными фильтрами), температуры и влажности воздуха.

× 1974; • 1975; ○ 1976 г.

мальные различия от сезона к сезону ~ 0.1 , то сравнение ночей с лучшей и худшей прозрачностью показывает большую амплитуду изменения P_λ ($\Delta P \approx 0.2$). Это свидетельствует о нестабильности атмосферных условий в месте наблюдений как от ночи к ночи (рис. 1), так и в течение года. Как видно из рис. 3, в ночи с наилучшей прозрачностью ее кривая приближается к стандартной. Наблюдения в коротковолновой области спектра,

ТАБЛИЦА 3

$\lambda, \text{Å}$	P_R	$\alpha_{\text{оз}}^*, \text{см}^{-1}$	$P_{\text{оз}}$	$P_{R+\text{оз}}$	$P_{\text{ст}}$
3500	0.615	—	—	0.615	0.55
4000	0.760	—	—	0.760	0.69
4500	0.84	—	—	0.84	0.78
5000	0.895	0.010	0.995	0.89	0.83
5500	0.925	0.045	0.976	0.90	0.85
6000	0.950	0.060	0.966	0.92	0.87
6500	0.960	0.035	0.981	0.94	0.90
7000	0.970	—	—	0.97	0.93

* $\alpha_{\text{оз}}$ — коэффициент поглощения озона [из 6].

выполненные со спектроэлектрофотометром, показали ухудшение прозрачности для $\lambda < 4000 \text{ Å}$.

Известно два источника ослабления света при прохождении им земной атмосферы — рассеяние и поглощение. Исследование изменения атмос-

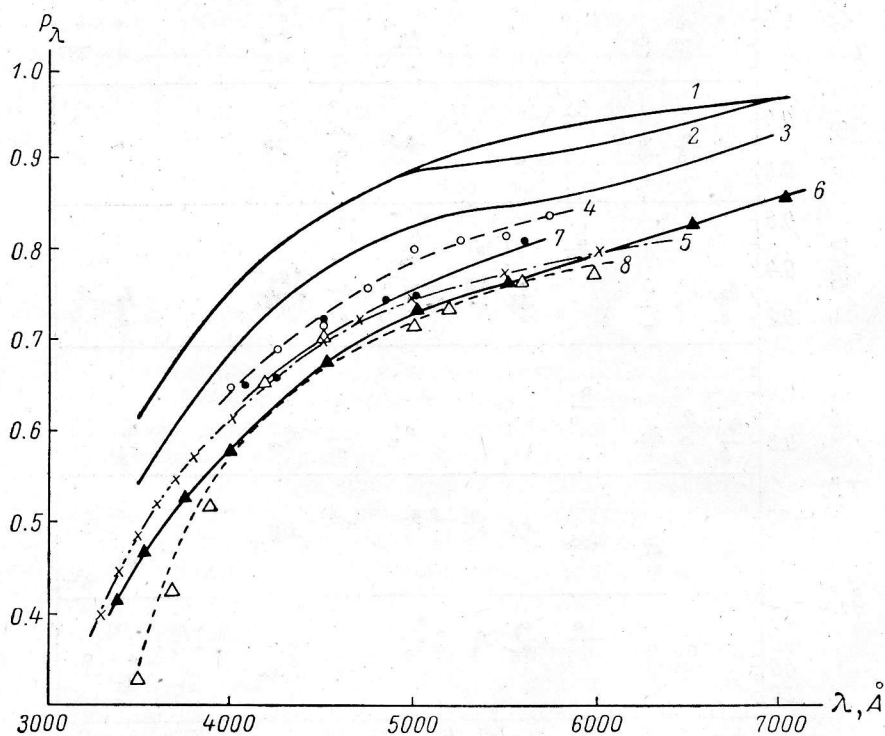


Рис. 2. Изменение коэффициентов прозрачности с длиной волны для наблюдений с интерференционными фильтрами (7) и на спектроэлектрофотометре (8).

1 — ход релеевского коэффициента прозрачности P_R ; 2 — ход P_R с учетом поглощения слоем озона; 3 — стандартная кривая прозрачности для $h=2000 \text{ м}$; 4, 5, 6 — ход коэффициента прозрачности для пос. Звездного ($h=2300 \text{ м}$), КраО АН СССР ($h=670 \text{ м}$), АИ АН КазССР ($h=1400 \text{ м}$).

ферного поглощения в разных участках спектра дает возможность сделать некоторые заключения о частицах земной атмосферы, вызывающих поглощение и рассеяние световых лучей. Основным источником рассеяния света в земной атмосфере является рассеяние на молекулах, происходящее по закону Релея, т. е. так, что создаваемая при этом оптическая толщина атмосферы обратно пропорциональна длине волны в четвертой сте-

пени: $\tau_R(\lambda) \sim 1/\lambda^4$. Кроме того, в атмосфере имеет место рассеяние на аэрозолях различной природы и размеров. Это рассеяние создает $\tau_A(\lambda) \sim 1/\lambda^n$, где $0 < n < 4$ в зависимости от размеров рассеивающих частиц. Если частицы очень малы, n стремится к 4, у крупных частиц $n \approx 1$ и может быть меньше 1. Наиболее крупные из них, существенно превышающие по размеру длину световой волны, производят нейтральное рассеяние света, когда $n=0$, а $c = \text{const}$. Наконец, имеет место истинное поглощение в линиях и полосах, соответствующих различным энергетическим переходам в молекулах газов, входящих в состав атмосферы (O_3 , O_2 , H_2O , CO_2 и т. д.).

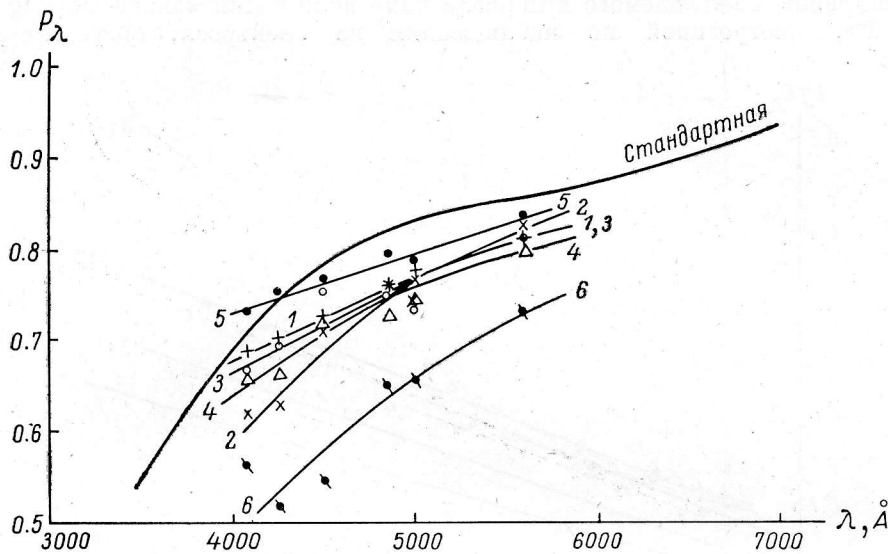


Рис. 3. Изменение коэффициента прозрачности с длиной волны для различных сезонов 1974—1976 гг. (интерференционные фильтры).

1 — зима; 2 — весна; 3 — лето; 4 — осень; 5 — 15—16 II 1976; 6 — 12—13 IX 1976.

Таким образом, общее выражение для оптической толщины атмосферы имеет вид:

$$\tau(\lambda) = a\lambda^{-4} + b\lambda^{-n} + c + \tau_{\text{ист}}. \quad (1)$$

Поскольку в исследуемой области спектра (3500—6000 Å) селективное поглощение играет весьма малую роль, выражение (1) упрощается:

$$\tau(\lambda) = a\lambda^{-4} + b\lambda^{-n} + c. \quad (2)$$

Коэффициент прозрачности земной атмосферы выражается известной формулой:

$$P_\lambda = e^{-\tau_\lambda}, \quad (3)$$

откуда

$$\tau_\lambda = -2.3 \lg P_\lambda; \quad (\tau_\lambda \sim \lg P_\lambda). \quad (4)$$

Из (2) и (4) следует:

$$\lg P_\lambda = -(a\lambda^{-4} + b\lambda^{-n} + c)/2.3 = A\lambda^{-4} + B\lambda^{-n} + C. \quad (5)$$

Зависимости $\lg P_\lambda$ от λ^{-4} для двух перечисленных выше рядов наблюдений представлены на рис. 4. Здесь же нанесены данные для посл. звездного (июнь—июль 1963 г.), а также для КраО АН СССР и АИ АН Каз. ССР. Из приведенных графиков видно, что точки зависимости довольно хорошо ложатся на прямую линию, во всех случаях не проходящую через начало координат, как было бы при чисто релейском рассеянии. Поэтому уравнение (5) примет вид:

$$\tau(\lambda) = a\lambda^{-4} + c. \quad (6)$$

Коэффициенты уравнения (6) легко определяются по наклону прямой ($\lg P_\lambda \sim \lambda^{-4}$) и по точке пересечения ее с осью ординат. Если первый коэффициент (a) характеризует скорость повышения спектральной прозрачности атмосферы при увеличении длины волны проходящего света, то второй (c) представляет собой долю ослабления света из-за его рассеяния самыми крупными аэрозолями. Коэффициенты, усредненные по сезонам, приведены в табл. 4 и на рис. 5, где дан также сезонный ход температуры и влажности воздуха. На рисунке прослеживается корреляция коэффициента c с метеохарактеристиками, тогда как a остается почти постоянным. При расширении наблюдаемого интервала длин волн точки зависимости $\lg P_\lambda$ от λ^{-4} , построенной по наблюдениям на спектроэлектрофотометре,

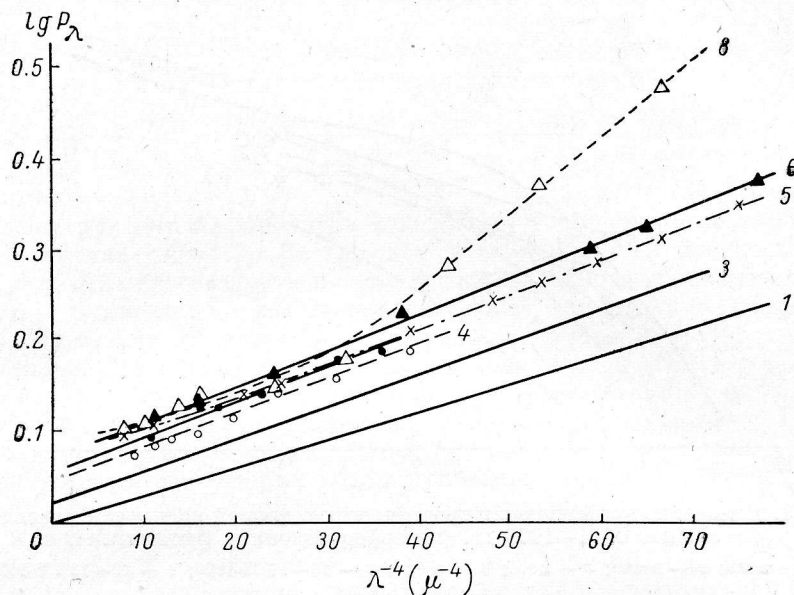


Рис. 4. Зависимость $\lg P_\lambda$ от λ^{-4} (μ^{-4}).
Обозначения см. на рис. 2.

ложатся на кривую, круто загибающуюся вверх в области $\lambda < 4200 \text{ \AA}$. Это говорит о том, что оптическая толщина атмосферы создается рассеянием не только на молекулах и самых крупных частицах, но и на частицах промежуточных размеров, создающих $\tau \sim \lambda^{-n}$. Однако в первом приближении и для наблюдений на спектроэлектрофотометре τ_λ можно представить уравнением (6), что дает в среднем для трех ночей $a=0.012$ и $c=0.12$.

ТАБЛИЦА 4

Дата	a	c	Дата	a	c
Интерференционные фильтры			Спектроэлектрофотометр		
1974—1976 гг.			17—19 II 1976	0.014	0.04
Зима	0.008	0.115	5—6 VII	0.016	0.08
Весна	0.009	0.138			
Лето	0.007	0.161	Среднее	0.012	0.12
Осень	0.008	0.115			
Среднее	0.011	0.115			

Проведенное исследование свидетельствует о том, что атмосфера в САО АН СССР в среднем характеризуется большим содержанием крупных аэрозолей. Однако учитывая возможность включения в исследование

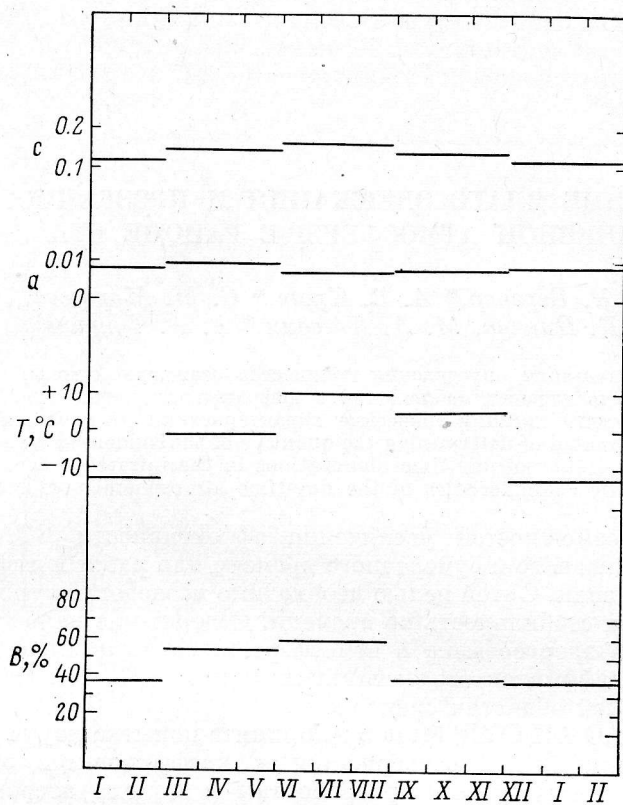


Рис. 5. Сезонные изменения коэффициентов a , c , температуры и влажности воздуха.

ряда нефотометрических ночей, можно говорить о хорошей прозрачности нашей атмосферы, которая в отдельные ночи (6—7 III 1976 $c=0.08$, 17—19 II 1976 $c=0.04$) приближается к прозрачности на горе Майданак ($c=0.05$, $h=3000$ м) [5].

Авторы благодарны В. Г. Штолю за постоянную техническую помощь, Л. И. Снежку и В. С. Лебедеву за полезные обсуждения.

Список литературы

1. Allen C. W. Astrophysical quantities. 3d ed. London, 1973, p. 210—212.
2. Васильев О. Б., Фролов В. Н. Определение ночной спектральной прозрачности атмосферы экспедицией ГАО АН СССР в Зеленчуке в 1963 г. — Изв. ГАО, 1965, 24, с. 207—212.
3. Глушнев И. Г., Дорошенко В. Т. О коэффициенте прозрачности атмосферы по спектрофотометрическим наблюдениям в Крыму (Крымская станция ГАИШ). — Астрон. цирку., 1973, № 754, с. 1—3.
4. Харитонов А. В. О возможности приближенного определения спектрального коэффициента прозрачности земной атмосферы по наблюдениям в одной или двух длинах волн. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1970, 1, с. 91—99.
5. Исаков И. С., Кардополов В. И., Шевченко В. С. Прозрачность на горе Майданак. — Астрон. цирку., 1971, № 685, с. 1—3.
6. Прокофьева И. А. Атмосферный озон. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1951.