

УДК 551.521.3

## Однопараметрические сезонные модели аэрозольного ослабления в области спектра 0,44–11,5 мкм для приземного слоя атмосферы аридной зоны

Н.Н. Щелканов, Ю.А. Пхалагов\*

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

Поступила в редакцию 1.04.2014 г.

Предложены однопараметрические модели весенней, летней и осенней дымков для расчета коэффициентов аэрозольного ослабления в области спектра 0,44–11,5 мкм в приземном слое атмосферы аридной зоны. Входным параметром моделей является значение коэффициента аэрозольного ослабления на одной длине волны в видимой или ИК-области спектра.

*Ключевые слова:* однопараметрические модели, коэффициент аэрозольного ослабления, аридная зона; one-parameter models, aerosol extinction coefficient, arid zone.

Одной из важных задач атмосферной оптики является модельная оценка коэффициентов аэрозольного ослабления в области 0,44–11,5 мкм по их измеренным значениям на одной или нескольких длинах волн в видимой области спектра. Актуальность этой проблемы обусловлена тем, что большинство измерений спектральной прозрачности атмосферы проводятся в коротковолновой области спектра 0,4–1 мкм. А для широкого круга задач атмосферной оптики необходимо иметь данные о спектральном ходе коэффициентов аэрозольного ослабления и аэрозольных оптических толщ в коротковолновой и длинноволновой областях спектра, включая «окно прозрачности» атмосферы 8–12 мкм. В связи с этим большой интерес представляют эмпирические малопараметрические аэрозольные модели, позволяющие по измерениям в коротковолновой области спектра рассчитать ослабление в области спектра 1–12 мкм. Такие малопараметрические аэрозольные модели рассматривались в работах [1–21].

Известная модель [5] для расчета коэффициентов аэрозольного ослабления включает в себя 12 типов атмосферных замутнений, в которых метеорологическая дальность видимости изменяется от 1 до 50 км, температура воздуха – от –35 до +25 °С, относительная влажность воздуха – от 30 до 100%. Однако эта модель [5] не работает при метеорологической дальности видимости более 50 км, температуре воздуха выше 25 °С и относительной влажности воздуха менее 30%, что является характерным для атмосферы аридной зоны [22]. Это привело нас к необходимости построения для этого региона сезонных однопараметрических моделей аэрозольного ослабления.

Использование сезонного принципа построения однопараметрических моделей основано на том, что в видимой области спектра соотношения между вкладом грубодисперсного и субмикронного аэрозоля в коэффициенты ослабления существенно различаются в разные сезоны года, в то время как в ИК-области ослабление, в основном, определяется грубодисперсным аэрозолем.

Для построения аэрозольных моделей использованы массивы коэффициентов аэрозольного ослабления в области спектра 0,44–11,5 мкм, полученные в наиболее стабильных условиях каменистой полупустыни аридной зоны Казахстана в весенний (230 спектров), летний (167) и осенний (192) периоды 1984–1988 гг. [22–25]. На рис. 1 приведены средние спектральные ходы коэффициентов аэрозольного ослабления для весны, лета и осени аридной зоны, скорректированные по методу [26, 27].

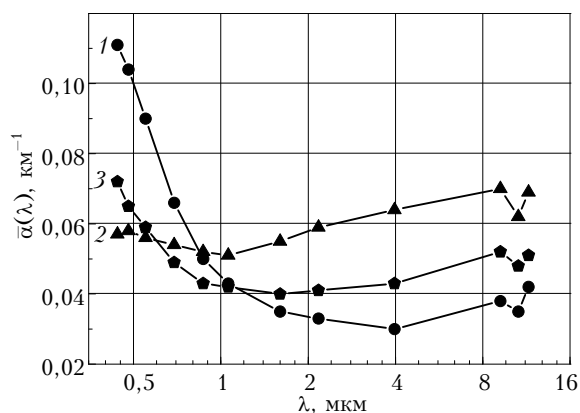


Рис. 1. Спектральные ходы коэффициентов аэрозольного ослабления в области спектра 0,44–11,5 мкм в аридной зоне Казахстана в разные сезоны года: весна (кривая 1), лето (2) и осень (3)

\* Николай Николаевич Щелканов (snn@iao.ru); Юрий Александрович Пхалагов (pkhalagov@iao.ru).

Обычно для построения однопараметрических моделей вида  $Y = K_0 + K_1X$  используют две формулы: линейную регрессию  $Y$  на  $X$  или ортогональную регрессию. При вычислении коэффициентов  $K_1$  и  $K_0$  с использованием регрессии  $Y$  на  $X$  минимизируется сумма квадратов отклонений  $\Delta Y$  от искомой прямой и получаются минимальное значение коэффициента  $K_1$  и максимальное  $K_0$ , с использованием регрессии  $X$  на  $Y$  минимизируется сумма квадратов отклонений  $\Delta X$  от искомой прямой и получаются максимальное значение коэффициента  $K_1$  и минимальное  $K_0$ . Отметим, что теоретически, регрессию  $Y$  на  $X$  ( $X$  на  $Y$ ) можно использовать в том случае, когда разброс точек в корреляционной связи величин  $X$  и  $Y$  обусловлен только случайными погрешностями величины  $Y$  ( $X$ ) [28].

При нахождении коэффициентов  $K_1$  и  $K_0$  с использованием ортогональной регрессии минимизируется сумма квадратов отклонений, перпендикулярных искомой прямой, и получаются промежуточные значения коэффициентов  $K_1$  и  $K_0$ . При этом ортогональную регрессию можно использовать лишь в том случае, когда разброс точек в корреляционной связи величин  $X$  и  $Y$  обусловлен случайными погрешностями величин  $X$  и  $Y$  и они равны между собой [29, 30].

При построении однопараметрических моделей разброс точек в корреляционной связи  $X$  и  $Y$  обусловлен как случайными погрешностями этих величин, так и неконтролируемыми физическими факторами. Поэтому для расчета коэффициента регрессии  $K_1$  модели  $Y = K_0 + K_1X$  использовалась обобщенная формула линейной регрессии [16, 29, 30], которая получена именно для этого случая и имеет вид

$$K_1 = \frac{\sigma_Y}{\sigma_X} \frac{B}{A} \frac{1}{2\rho_{XY}} \left\{ \left( \frac{A}{B} - \frac{B}{A} \right) + \sqrt{\left( \frac{A}{B} - \frac{B}{A} \right)^2 + 4\rho_{XY}^2} \right\}, \quad (1)$$

где

$$A = \sqrt{1 - |\rho_{XY}|} \sqrt{\frac{1 - \delta_X^2/\sigma_X^2}{1 - \delta_Y^2/\sigma_Y^2}};$$

$$B = \sqrt{1 - |\rho_{XY}|} \sqrt{\frac{1 - \delta_Y^2/\sigma_Y^2}{1 - \delta_X^2/\sigma_X^2}};$$

$\sigma_X$  и  $\sigma_Y$  – среднеквадратические отклонения  $X$  и  $Y$ ;  $\rho_{XY}$  – нормированный коэффициент корреляции между  $X$  и  $Y$ ;  $\delta_X$  и  $\delta_Y$  – среднеквадратические погрешности измерения  $X$  и  $Y$  для рассматриваемого массива данных.

В работах [16, 29] продемонстрировано преимущество использования обобщенной формулы для построения однопараметрических моделей по сравнению с другими формулами линейной регрессии и показано, что использование такой формулы позволяет находить устойчивые и физически корректные модели вне зависимости от используемого массива данных.

С учетом вышесказанного аэрозольные модели представлялись

$$\alpha(\lambda_i) = K_0(\lambda_i, \lambda_j) + K_1(\lambda_i, \lambda_j)\alpha(\lambda_j), \quad (2)$$

где  $\alpha(\lambda_i)$  – коэффициент аэрозольного ослабления на длине волны  $\lambda_i$ ,  $\alpha(\lambda_j)$  – коэффициент ослабления на  $\lambda_j$ , используемый в качестве входного параметра;  $K_0(\lambda_i, \lambda_j)$ ,  $K_1(\lambda_i, \lambda_j)$  – эмпирические коэффициенты для пары коэффициентов ослабления на  $\lambda_i$  и  $\lambda_j$  ( $\lambda_i \geq \lambda_j$ ),  $i, j = 1, \dots, n$ ,  $n$  – число длин волн. Использование обобщенной формулы для вычисления коэффициента регрессии  $K_1(\lambda_i, \lambda_j)$  позволяет установить однозначную связь между коэффициентами аэрозольного ослабления, а модели для расчета  $\alpha(\lambda_j)$  по измеренным значениям  $\alpha(\lambda_i)$  записать:

$$\alpha(\lambda_j) = [\alpha(\lambda_i) - K_0(\lambda_i, \lambda_j)]/K_1(\lambda_i, \lambda_j). \quad (3)$$

Случайные погрешности коэффициентов аэрозольного ослабления рассчитывались по приближенной формуле (6) из [31] и округлялись в меньшую сторону с точностью до  $0,001 \text{ км}^{-1}$ . Это связано с тем, что при округлении в большую сторону могут быть превышены допустимые значения погрешностей, определяемые в работе [31, формула (8)]. В результате для трех сезонов года получились следующие оценки случайных среднеквадратических погрешностей коэффициентов аэрозольного ослабления в области спектра  $0,44\text{--}11,5 \text{ мкм}$ : весна –  $0,004$ , лето –  $0,005$ , осень –  $0,003 \text{ км}^{-1}$ .

В табл. 1 приведены матрицы коэффициентов регрессии  $K_1(\lambda_i, \lambda_j)$  и  $K_0(\lambda_i, \lambda_j)$ , из которой видно, что коэффициенты регрессии  $K_1(\lambda_i, \lambda_j)$  и  $K_0(\lambda_i, \lambda_j)$  для весенней дымки изменяются от  $0,213$  до  $1,412$  (от  $-0,004$  до  $0,009 \text{ км}^{-1}$ ), для летней – от  $0,896$  до  $1,347$  (от  $-0,003$  до  $0,005 \text{ км}^{-1}$ ) и для осенней – от  $0,534$  до  $1,307$  (от  $-0,001$  до  $0,003 \text{ км}^{-1}$ ). Характерной особенностью полученных аэрозольных моделей является близость к нулю значительного числа коэффициентов регрессии  $K_0(\lambda_i, \lambda_j)$ . Это говорит о физической корректности моделей, так как при близости к нулю коэффициентов аэрозольного ослабления в какой-то области спектра они также должны быть близки к нулю и в других областях спектра.

На рис. 2 приведено сравнение коэффициентов аэрозольного ослабления на длине волны  $10,6 \text{ мкм}$ , измеренных  $\alpha_n(10,6)$  и рассчитанных  $\alpha_p(10,6)$  по разным формулам линейной регрессии. Штриховыми линиями проведены прямые  $\alpha_p(10,6) = \alpha_n(10,6)$ . Расчет  $\alpha_p(10,6)$  (рис. 2, а) проводился с использованием регрессии  $\alpha_p(10,6)$  на  $\alpha(0,55)$  [28], в результате получили модель

$$\alpha_p(10,6) = 0,105\alpha(0,55) + 0,026, \quad (4)$$

где  $\alpha(0,55)$  – коэффициент аэрозольного ослабления на длине волны  $0,55 \text{ мкм}$ . Для расчета  $\alpha_p(10,6)$  (рис. 2, б) использовалась обобщенная формула линейной регрессии [29, 30], и получили модель

$$\alpha_p(10,6) = 0,293\alpha_p(0,55) + 0,009. \quad (5)$$

Матрица коэффициентов  $K_1(\lambda_i, \lambda_j)$  и  $K_0(\lambda_i, \lambda_j)$  ( $\text{км}^{-1}$ ) в области спектра 0,44–11,5 мкм для моделей (2), (3) весенней, летней и осенней дымки аридной зоны

$\lambda_i$	$\lambda_j$											
	0,44	0,48	0,55	0,69	0,87	1,06	1,60	2,17	3,97	9,20	10,6	11,5
<i>Весенняя дымка</i>												
0,44	1,000 0,000											
0,48	0,921 0,002	1,000 0,000										
0,55	0,797 0,002	0,865 0,000	1,000 0,000									
0,69	0,581 0,002	0,630 0,000	0,729 0,000	1,000 0,000								
0,87	0,413 0,003	0,448 0,002	0,519 0,002	0,712 0,002	1,000 0,000							
1,06	0,371 0,002	0,403 0,001	0,466 0,001	0,640 0,001	0,899 -0,001	1,000 0,000						
1,60	0,262 0,006	0,284 0,005	0,329 0,005	0,451 0,005	0,634 0,004	0,706 0,005	1,00 0,000					
2,17	0,219 0,009	0,237 0,008	0,275 0,008	0,377 0,008	0,530 0,007	0,589 0,008	0,835 0,004	1,00 0,000				
3,97	0,213 0,006	0,231 0,006	0,268 0,006	0,367 0,006	0,516 0,005	0,574 0,005	0,814 0,002	0,975 -0,002	1,000 0,000			
9,20	0,251 0,010	0,273 0,010	0,316 0,010	0,423 0,009	0,608 0,008	0,677 0,009	0,959 0,004	1,149 0,000	1,178 0,003	1,000 0,000		
10,6	0,233 0,009	0,253 0,009	0,293 0,009	0,402 0,008	0,565 0,007	0,628 0,008	0,890 0,004	1,066 0,000	1,094 0,002	0,928 0,000	1,000 0,000	
11,5	0,301 0,009	0,327 0,008	0,378 0,008	0,519 0,008	0,729 0,006	0,811 0,007	1,149 0,002	1,377 -0,003	1,412 0,000	1,198 -0,004	1,291 -0,003	1,000 0,000
<i>Летняя</i>												
0,44	1,000 0,000											
0,48	1,029 -0,001	1,000 0,000										
0,55	0,971 0,001	0,944 0,001	1,000 0,000									
0,69	0,938 0,001	0,911 0,001	0,966 0,000	1,000 0,000								
0,87	0,938 -0,001	0,911 -0,001	0,966 -0,002	1,000 -0,002	1,000 0,000							
1,06	0,896 0,000	0,871 0,000	0,923 -0,001	0,956 -0,001	0,956 0,001	1,000 0,000						
1,60	0,942 0,001	0,915 0,002	0,970 0,001	1,004 0,001	1,004 0,003	1,051 0,001	1,000 0,000					
2,17	1,054 -0,001	1,024 0,000	1,085 -0,002	1,124 -0,002	1,124 0,001	1,176 -0,001	1,119 -0,003	1,000 0,000				
3,97	1,149 -0,001	1,117 -0,001	1,183 -0,002	1,225 -0,002	1,225 0,000	1,282 -0,001	1,220 -0,003	1,090 0,000	1,000 0,000			
9,20	1,207 0,001	1,173 0,002	1,243 0,000	1,290 0,001	1,287 0,003	1,347 0,001	1,281 0,000	1,145 0,002	1,050 0,003	1,000 0,000		
10,6	1,029 0,003	1,000 0,004	1,060 0,002	1,097 0,003	1,097 0,005	1,148 0,003	1,093 0,002	0,976 0,004	0,896 0,005	0,853 0,002	1,000 0,000	
11,5	1,182 0,002	1,149 0,002	1,217 0,001	1,261 0,001	1,261 0,003	1,319 0,002	1,255 0,000	1,122 0,003	1,029 0,003	0,979 0,000	1,149 -0,002	1,000 0,000

$\lambda_i$	$\lambda_j$											
	0,44	0,48	0,55	0,69	0,87	1,06	1,60	2,17	3,97	9,20	10,6	11,5
<i>Осенняя</i>												
0,44	1,000 0,000											
0,48	0,898 0,000	1,000 0,000										
0,55	0,810 0,001	0,902 0,000	1,000 0,000									
0,69	0,669 0,001	0,745 0,001	0,825 0,000	1,000 0,000								
0,87	0,578 0,001	0,644 0,001	0,714 0,001	0,865 0,001	1,000 0,000							
1,06	0,561 0,002	0,625 0,001	0,693 0,001	0,839 0,001	0,970 0,000	1,000 0,000						
1,60	0,534 0,002	0,595 0,001	0,659 0,001	0,799 0,001	0,924 0,000	0,952 0,001	1,000 0,000					
2,17	0,546 0,002	0,608 0,001	0,674 0,001	0,817 0,001	0,945 0,000	0,974 0,000	1,023 0,000	1,000 0,000				
3,97	0,578 0,001	0,644 0,001	0,714 0,001	0,865 0,001	1,000 0,000	1,031 0,000	1,083 0,000	1,058 0,000	1,000 0,000			
9,20	0,683 0,003	0,761 0,003	0,843 0,002	1,022 0,002	1,182 0,001	1,218 0,001	1,279 0,001	1,251 0,001	1,182 0,001	1,000 0,000		
10,6	0,639 0,002	0,712 0,002	0,789 0,001	0,956 0,001	1,106 0,000	1,140 0,000	1,197 0,000	1,170 0,000	1,106 0,000	0,936 -0,001	1,000 0,000	
11,5	0,698 0,003	0,777 0,002	0,861 0,002	1,044 0,002	1,207 0,001	1,244 0,001	1,307 0,001	1,277 0,001	1,207 0,001	1,021 0,000	1,092 0,001	1,000 0,000

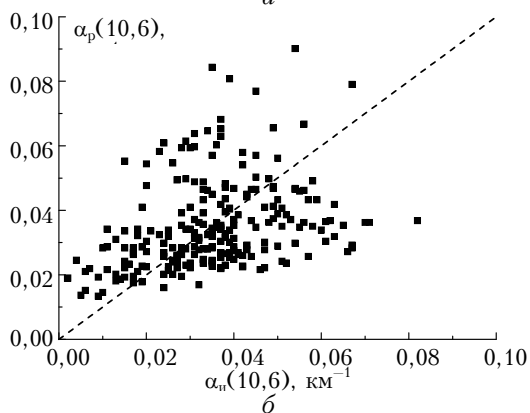
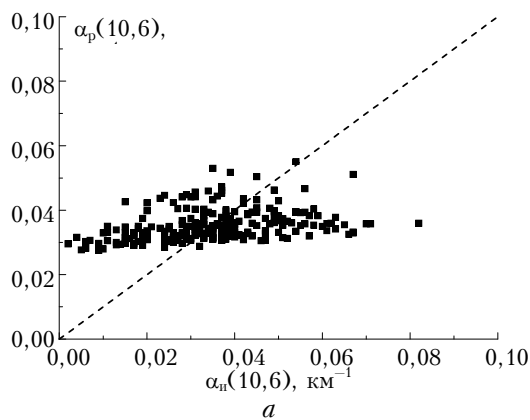


Рис. 2. Сравнение коэффициентов аэрозольного ослабления на длине волны 10,6 мкм, измеренных  $\alpha_n(10,6)$  и рассчитанных  $\alpha_p(10,6)$  по двум моделям для весенней дымки; а – (4), б – (5)

Из рис. 2 видно, что в отличие от (5) модель (4) при значениях  $\alpha_n(10,6) < 0,03 \text{ км}^{-1}$  дает завышенные значения  $\alpha_p(10,6)$ , а при  $\alpha_n(10,6) > 0,05 \text{ км}^{-1}$  заниженные.

В табл. 2 приведены среднеквадратические отклонения (СКО) величин  $\alpha_n(10,6)$  и  $\alpha_p(10,6)$ , рассчитанные с использованием обобщенной формулы линейной регрессии [29, 30] и регрессии  $\alpha_p(10,6)$  на  $\alpha(0,55)$  [28], для моделей весенней, летней и осенней дымки.

Таблица 2

Среднеквадратические отклонения величин  $\alpha_n(10,6)$  и  $\alpha_p(10,6)$ ,  $\text{км}^{-1}$ 

Модель дымки	СКО $\alpha_n(10,6)$	СКО $\alpha_p(10,6)$ по [29, 30]	СКО $\alpha_p(10,6)$ по [28]
Весенняя	0,015	0,014	0,005
Летняя	0,026	0,026	0,017
Осенняя	0,026	0,026	0,019

Из табл. 2 видно, что СКО расчетных величин  $\alpha_p(10,6)$ , полученные с использованием обобщенной формулы линейной регрессии [29, 30], хорошо соответствуют СКО измеренных величин  $\alpha_n(10,6)$ . А СКО величин  $\alpha_p(10,6)$ , рассчитанные с использованием регрессии  $\alpha_p(10,6)$  на  $\alpha(0,55)$  [28], имеют заниженные значения, что говорит о неадекватности этой модели экспериментальным данным.

В табл. 3 приведены случайные среднеквадратические погрешности моделей весенней, летней и осенней дымки в области спектра 0,44–11,5 мкм

Таблица 3

Случайные среднеквадратические погрешности моделей дымки (2), (3) в области спектра 0,44–11,5 мкм при входном параметре  $\alpha(0,55)$ 

Длина волны, мкм	0,44	0,48	0,69	0,87	1,06	1,60	2,12	3,97	9,20	10,6	11,5
Погрешность, км <sup>-1</sup>	<i>Весенняя дымка</i>										
	0,008	0,008	0,007	0,010	0,012	0,013	0,013	0,013	0,014	0,014	0,018
	<i>Летняя</i>										
	0,010	0,009	0,008	0,010	0,011	0,014	0,019	0,022	0,024	0,020	0,023
	<i>Осенняя</i>										
	0,008	0,005	0,008	0,012	0,012	0,015	0,016	0,018	0,022	0,019	0,022

при использовании в качестве входного параметра коэффициента аэрозольного ослабления на длине волны  $\lambda_i = 0,55$  мкм.

Таким образом, предложенные нами однопараметрические модели весенней, летней и осенней дымки для расчета коэффициентов аэрозольного ослабления в условиях каменистой полупустыни в приземном слое атмосферы аридной зоны в области спектра 0,44–11,5 мкм были построены с учетом как случайных погрешностей измеряемых величин, так и неконтролируемых физических факторов. Входным параметром моделей является значение коэффициента аэрозольного ослабления на одной длине волны в видимой или ИК-области спектра. Хорошее соответствие расчетных и измеренных значений среднеквадратических отклонений коэффициентов аэрозольного ослабления свидетельствует об адекватности предложенных моделей экспериментальным данным. Близость к нулю значительного числа коэффициентов регрессии  $K_0(\lambda_i, \lambda_j)$  говорит о физической корректности этих моделей. Приведены случайные среднеквадратические погрешности моделей весенней, летней и осенней дымки в области спектра 0,44–11,5 мкм при использовании в качестве входного параметра коэффициента аэрозольного ослабления на длине волны 0,55 мкм, которые составили 0,005–0,024 км.

1. Малкевич М.С., Георгиевский Ю.С., Чавро А.И., Шукуров А.Х. Статистические характеристики спектральной структуры ослабления радиации в приземном слое воздуха // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1977. Т. 13, № 12. С. 1257–1267.
2. Горчаков Г.И., Свириденков М.А. Статистическая модель оптических характеристик атмосферной дымки // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1979. Т. 15, № 1. С. 53.
3. Филиппов В.Л., Макаров А.С., Иванов В.П. Статистические характеристики ослабления видимой и ИК-радиации в приземном слое атмосферы // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1979. Т. 15, № 3. С. 257–265.
4. Горчаков Г.И., Емиленко А.С., Свириденков М.А. Однопараметрическая модель приземного аэрозоля // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1981. Т. 17, № 1. С. 39–49.
5. Филиппов В.Л., Макаров А.С., Иванов В.П. Построение региональных полуэмпирических моделей оптических характеристик атмосферы // Докл. АН СССР. 1982. Т. 265, № 6. С. 1353–1356.

6. A preliminary cloudless standart atmosphere for radiation computation. World climate research programme. WCP-112, WMO/TD N 24. 1986. 60 p.
7. Веретенников В.В., Кабанов М.В., Панченко М.В. Микрофизическая интерпретация однопараметрической модели поляризационных индикатрис (дымка прибрежного района) // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1986. Т. 22, № 10. С. 1042–1049.
8. Веретенников В.В., Кабанов М.В., Панченко М.В., Фадеев В.Я. Однопараметрическая модель дымки в задачах зондирования // Оптика атмосфер. 1988. Т. 1, № 2. С. 25–31.
9. Кабанов М.В., Панченко М.В., Пхалагов Ю.А., Веретенников В.В., Ужegov В.Н., Фадеев В.Я. Оптические свойства прибрежных атмосферных дымки. Новосибирск: Наука, 1988. 280 с.
10. Веретенников В.В. Интерпретация модели спектрального ослабления дымки морского прибрежного района // Оптика атмосфер. и океана. 1990. Т. 3, № 10. С. 1026–1033.
11. Панченко М.В., Польшин В.В., Пхалагов Ю.А., Щелканов Н.Н. Статистические связи оптических и микрофизических характеристик аэрозоля аридной зоны // Оптика атмосфер. и океана. 1993. Т. 6, № 8. С. 905–912.
12. Hess M., Koepke P., Schult I. Optical properties of aerosols and clouds: The software package OPAC // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1998. V. 79, N 5. P. 831–844.
13. Shchelkanov N.N., Pkhalagov Yu.A. Two-Parameter Model of Aerosol Extinction in the Wavelength Range 0.4–12  $\mu\text{m}$  // Proc. SPIE. 1999. V. 3983. P. 32–35.
14. Щелканов Н.Н., Пхалагов Ю.А. Двухпараметрическая модель аэрозольного ослабления для атмосферных дымки // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12, № 12. С. 1089–1092.
15. Щелканов Н.Н. Двухпараметрическая модель аэрозольного ослабления в области спектра 0,4–12 мкм для горизонтальных и наклонных трасс // Оптика атмосфер. и океана. 2002. Т. 15, № 12. С. 1114–1117.
16. Shchelkanov N.N. Application of a generalized formula of linear regression for construction of one-parameter models of aerosol extinction // Proc. SPIE. 2004. V. 5743. P. 384–392.
17. Белов В.В., Тарасенков М.В., Пискунов К.П. Параметрическая модель солнечной дымки в видимой и УФ-области спектра // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 4. С. 294–297.
18. Павлов В.Е., Свириденков М.А., Журавлева Т.Б., Ошлаков В.К., Суковатов К.Ю. Аэрозольная индикатриса рассеяния для аридной территории юго-востока Казахстана // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 12. С. 1062–1066.
19. Panchenko M.V., Zhuravleva T.B., Terpigova S.A., Polkin V.V., Kozlov V.S. An empirical model of optical and radiative characteristics of the tropospheric aerosol

- over West Siberia in summer // *Atmos. Measur. Technol.* 2012. V. 5, N 7. P. 1513–1527.
20. Панченко М.В., Козлов В.С., Польшкин В.В., Терпугова С.А., Тумаков А.Г., Шмаргунов В.П. Восстановление оптических характеристик тропосферного аэрозоля Западной Сибири на основе обобщенной эмпирической модели, учитывающей поглощающие и гигроскопические свойства частиц // *Оптика атмосфер. и океана.* 2012. Т. 25, № 1. С. 46–54.
  21. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Козлов В.С., Панченко М.В., Терпугова С.А., Яушева Е.П. Восстановление коэффициентов аэрозольного ослабления оптического излучения на протяженной приземной трассе по данным измерений параметров аэрозоля в локальном объеме // *Оптика атмосфер. и океана.* 2013. Т. 26, № 6. С. 478–483.
  22. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н. Аэрозольное ослабление оптического излучения в атмосфере аридной зоны // *Оптика атмосфер. и океана.* 1994. Т. 7, № 10. С. 1318–1329.
  23. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н. О некоторых особенностях оптических свойств атмосферы пустынных районов в весенний период // *Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана.* 1987. Т. 23, № 4. С. 409–414.
  24. Щелканов Н.Н. Исследование ослабления оптического излучения аэрозолями и водяным паром в атмосфере аридной зоны: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Томск, 1997. 22 с.
  25. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н. О роли дисперсных фракций приземной дымки в ослаблении видимого и инфракрасного излучения // *Оптика атмосфер. и океана.* 1999. Т. 12, № 1. С. 19–22.
  26. Щелканов Н.Н. Методы коррекции аэрозольной оптической толщи атмосферы на горизонтальных и наклонных трассах // *Оптика атмосфер. и океана.* 2005. Т. 18, № 11. С. 1020–1023.
  27. Shchelkanov N.N. Methods for correction of the aerosol optical thickness of the atmosphere in the wavelength range 0.4 to 12 micron // *Proc. SPIE.* 2005. V. 6160. Part I. P. 380–384.
  28. Зайдель А.Н. Погрешности измерений физических величин. Л.: Наука, 1985. 112 с.
  29. Щелканов Н.Н. Обобщенный метод построения линейной регрессии и его применение для построения однопараметрических моделей аэрозольного ослабления // *Оптика атмосфер. и океана.* 2005. Т. 18, № 1–2. С. 86–90.
  30. Щелканов Н.Н. Новый метод нахождения коэффициентов линейной регрессии между двумя физическими величинами // *Вестн. ТГУ. Управление, вычислительная техника и информатика.* 2010. № 4 (13). С. 91–96.
  31. Щелканов Н.Н. Методы вычисления случайных погрешностей параметров окружающей среды из экспериментальных данных // *Оптика атмосфер. и океана.* 2012. Т. 25, № 9. С. 815–821.

*N.N. Shchelkanov, Yu.A. Pkhalagov. One-parameter seasonal models of aerosol extinction in the wavelength range 0.44–11.5 μm for the near-ground layer of the atmosphere in arid zone.*

One-parameter models of spring, summer, and autumn hazes are proposed for calculation of the aerosol extinction coefficients in the wavelength range 0.44–11.5 μm in the near-ground layer of the atmosphere in arid zone. Input parameter of the models is the aerosol extinction coefficient at one wavelength in visible or IR spectral range.