

УДК 551.521.3

Восстановление коэффициентов аэрозольного ослабления оптического излучения на протяженной приземной трассе по данным измерений параметров аэрозоля в локальном объеме

Ю.А. Пхалагов, В.Н. Ужегов, В.С. Козлов, М.В. Панченко, С.А. Терпугова, Е.П. Яушева*

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

Поступила в редакцию 21.02.2013 г.

Предложена двухпараметрическая модель, позволяющая восстанавливать коэффициенты аэрозольного ослабления излучения в видимом диапазоне длин волн на протяженной приземной трассе по небольшому числу параметров, полученных в локальном объеме воздуха. Входными параметрами модели служат коэффициент направленного аэрозольного рассеяния под углом 45° на длине волны $0,52$ мкм и массовая концентрация микрокристаллического углерода в атмосферном воздухе. Получена оценка спектральной зависимости альbedo однократного рассеяния в диапазоне длин волн $0,45$ – $3,9$ мкм.

Ключевые слова: спектральная зависимость, коэффициенты аэрозольного ослабления, поглощения и рассеяния оптического излучения; spectral dependence, aerosol extinction coefficients, absorption and scattering of optical radiation.

Введение

В последние годы активно обсуждается проблема изменения глобального климата Земли и анализируются причины этих изменений (см. обзоры [1–5]). Среди факторов, влияющих на изменение климата, важная роль отводится атмосферному аэрозолю, который оказывает прямое радиационное воздействие на климат за счет рассеяния и поглощения коротковолновой радиации Солнца. По имеющимся оценкам, радиационное воздействие аэрозоля на климат сравнимо в глобальном масштабе с воздействием антропогенных парниковых газов, но имеет противоположный знак. Сам по себе этот факт, а также выраженная изменчивость оптических характеристик атмосферного аэрозоля в пространстве и во времени подчеркивают важность реализации программ долговременных натурных исследований оптико-микрофизических параметров аэрозоля, на основе которых могут быть получены как средние межгодовые значения аэрозольных характеристик, так и их временные вариации и тренды. В свою очередь, знание временного тренда аэрозольных характеристик в региональном масштабе

позволит повысить точность прогнозов аэрозольного воздействия в имеющихся радиационных моделях (см., например, [6]).

Такие исследования оптических характеристик атмосферного аэрозоля в приземном слое проводятся в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН в районе Академгородка г. Томска. Здесь организованы круглосуточные измерения спектральной прозрачности атмосферы $T(\lambda)$ на горизонтальной трассе L длиной 1 км. Измерения $T(\lambda)$ осуществляются с помощью автоматизированного фильтрового двухканального фотометра [7], работающего в 11 участках спектра в диапазоне длин волн $0,45$ – $3,9$ мкм. По полученным значениям $T(\lambda)$ через соотношение Бугера $\ln T(\lambda) = -\varepsilon(\lambda) \cdot L$ находятся коэффициенты общего ослабления оптического излучения $\varepsilon(\lambda)$, представляющие собой сумму коэффициентов молекулярного рассеяния $\sigma_p(\lambda)$, аэрозольного ослабления $\beta(\lambda)$, континуального поглощения паров воды $k_{к.п}$ и селективного поглощения малых газовых компонентов и паров воды $k_{с.п}$. Затем с помощью статистической методики [8] выделяются коэффициенты аэрозольного ослабления, из которых формируется многолетний ряд коэффициентов $\beta(\lambda)$ в широком диапазоне длин волн.

Однако вследствие различных технических причин, неизбежных при проведении длительных измерений, временной ряд коэффициентов $\beta(\lambda)$ может иметь разрывы различной продолжительности, которые могут привести к ошибочной трактов-

* Юрий Александрович Пхалагов (pkhalagov@iao.ru); Виктор Николаевич Ужегов (uzhegov@iao.ru); Валерий Степанович Козлов (vkozlov@iao.ru); Михаил Васильевич Панченко (pmv@iao.ru); Светлана Александровна Терпугова (swet@iao.ru); Елена Петровна Яушева (helen@iao.ru).

ке полученных результатов. В этой связи представляется весьма важной проблема восстановления временного ряда коэффициентов $\beta(\lambda)$.

Исходный материал, методика обработки

В настоящей статье рассматривается подход, позволяющий с определенной точностью восстанавливать коэффициенты $\beta(\lambda)$ по данным измерений небольшого числа параметров в локальном объеме воздуха. В данном случае нами были взяты следующие параметры: коэффициент направленного аэрозольного рассеяния $\mu(45^\circ)$ ($\text{Мм}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$) под углом 45° на длине волны $\lambda = 0,52$ мкм и массовая концентрация поглощающего вещества (сажи Black Carbon) в аэрозольных частицах M_{BC} ($\text{мкг}/\text{м}^3$), которые измеряются с 1997 г. на аэрозольной станции ИОА СО РАН в мониторинговом режиме [9–13]. Для измерения коэффициента направленного светорассеяния $\mu(45^\circ)$ используется модифицированный нефелометр типа ФАН [10], а для измерений концентрации поглощающего вещества применяется аэталометр (фотометр поглощения) [13].

Алгоритм восстановления спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления $\beta(\lambda)$ с погрешностью $\delta\beta(\lambda)$ представлялся в виде линейного двухпараметрического регрессионного уравнения

$$\beta(\lambda) = K_0(\lambda) + K_1(\lambda)\mu(45^\circ) + K_2(\lambda)M_{\text{BC}} \pm \delta\beta(\lambda), \quad (1)$$

где $\mu(45^\circ)$ – коэффициент направленного светорассеяния, восстановленный для реального значения относительной влажности воздуха RH [14], а $K_0(\lambda)$, $K_1(\lambda)$ и $K_2(\lambda)$ – коэффициенты регрессии, рассчитываемые по известным формулам [15, 16]. Для апробации метода и расчета $K_0(\lambda)$, $K_1(\lambda)$, $K_2(\lambda)$, а также погрешности восстановления $\delta\beta(\lambda)$ использовались данные синхронных измерений 2003–2006 гг.

Заметим, что на первом этапе сопоставления разнородных параметров с помощью регрессии (1) была проведена корректировка массива $\beta(\lambda)$, включающая учет низкочастотного тренда «нулевых» сигналов источника излучения и возможной разбью-

стировки оптической системы при продолжительных измерениях. Кроме того, была проведена отбраковка явных выбросов, связанных, как правило, с неинтенсивными осадками, которые не были обнаружены при первичном просмотре исходных реализаций сигналов. В результате таких операций число рассматриваемых реализаций $\beta(\lambda)$ сократилось с 6170 до 5924 среднечасовых реализаций обсуждаемых оптических характеристик, при этом коэффициент корреляции (ρ , см. таблицу) между $\beta(0,50)$ и $\mu(45^\circ)$ возрос с 0,72 до 0,95, а между $\beta(0,50)$ и M_{BC} с 0,60 до 0,76.

Для этого массива кроме коэффициентов регрессии были рассчитаны средние значения коэффициентов аэрозольного ослабления $\bar{\beta}(\lambda)$, среднеквадратические отклонения σ_{β} , а также коэффициенты взаимной корреляции ρ между вариациями коэффициента $\beta(\lambda)$ и параметров $\mu(45^\circ)$ и M_{BC} (см. таблицу). В двух последних столбцах таблицы приведены спектральные коэффициенты рассеяния и поглощения субмикронного аэрозоля, полученные из измерений в локальном объеме для средних значений параметров $\mu(45^\circ)$ и M_{BC} . Расчет коэффициентов рассеяния $\beta_{\text{sc.sm}}(\lambda)$ и коэффициентов поглощения $\beta_{\text{ab.sm}}(\lambda)$ проводился по формулам

$$\beta_{\text{sc.sm}}(\lambda) = K_1(\lambda)\mu(45^\circ), \quad (2a)$$

$$\beta_{\text{ab.sm}}(\lambda) = K_2(\lambda)M_{\text{BC}}. \quad (2b)$$

Усредненные значения параметров $\bar{\mu}(45^\circ)$ и \bar{M}_{BC} по всему массиву составляли соответственно 15,4 ($\text{Мм}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$) и 1,4 ($\text{мкг}/\text{м}^3$).

Необходимо отметить, что вариации параметров $\mu(45^\circ)$ и M_{BC} отражают изменчивость в основном субмикронного аэрозоля, в то время как в величину коэффициентов $\beta(\lambda)$, измеряемых на протяженной трассе, входит и компонента ослабления излучения, обусловленная изменчивостью грубодисперсных частиц. Понятно, что вклад этих частиц в величину $\beta(\lambda)$ возрастает с ростом длины волны и в ИК-области спектра становится доминирующим. В двухпараметрической модели (1) роль грубодисперсного аэрозоля в значительной мере отражена в величине $K_0(\lambda)$ – свободном члене

Статистические характеристики оптических параметров, необходимых для восстановления коэффициентов аэрозольного ослабления по измеренным параметрам светорассеяния на аэрозольной станции

λ , мкм	$\bar{\beta}(\lambda)$, Мм^{-1}	$\sigma_{\beta(\lambda)}$, Мм^{-1}	ρ $\mu(45^\circ)$, $\beta(\lambda)$	ρ M_{BC} , $\beta(\lambda)$	$K_0(\lambda)$, Мм^{-1}	$K_1(\lambda)$, ср	$K_2(\lambda)$, $\text{м}^3 \cdot \text{мкг}^{-1} \cdot \text{Мм}^{-1}$	$\delta\beta(\lambda)$, Мм^{-1}	$\beta_{\text{sm}}^s(\lambda)$, Мм^{-1}	$\beta_{\text{sm}}^{\text{ab}}(\lambda)$, Мм^{-1}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,45	252	125	0,941	0,758	140	5459	19,9	38	84,0	27,9
0,50	222	111	0,954	0,761	123	4938	16,7	29	76,0	23,4
0,55	205	102	0,936	0,749	115	4468	15,5	33	68,8	21,7
0,63	167	83	0,915	0,740	95	3506	13,1	31	54,0	18,4
0,69	169	82	0,851	0,690	102	3208	12,3	41	49,4	17,3
0,87	133	61	0,718	0,613	90	1868	10,2	41	28,8	14,3
1,06	125	49	0,583	0,516	96	1178	7,9	39	18,1	11,1
1,22	121	46	0,550	0,503	94	987	8,1	38	15,2	11,4
1,6	107	38	0,430	0,414	89	584	6,3	34	9,0	8,9
2,17	85	31	0,242	0,280	76	161	4,9	30	2,5	6,9
3,9	81	30	0,130	0,190	75	1	4,2	30	0,1	5,9

регрессионного уравнения, не связанного с входными параметрами $\mu(45^\circ)$ и M_{BC} (реагирующих на изменчивость субмикронных частиц), а также в величине погрешности восстановления $\delta\beta(\lambda)$.

На рис. 1 приведены усредненная по всему массиву измеренных значений спектральная зависимость коэффициентов аэрозольного ослабления излучения и ее нелинейная аппроксимация [см. ниже выражение (3)]. Нами была проведена параметризация спектральной зависимости усредненных коэффициентов $\beta(\lambda)$ (см. таблицу) при следующих допущениях. Вклад в общий коэффициент ослабления грубодисперсной фракции β_{cd} , восстановленной в рамках двухпараметрической модели (1), не зависит от длины волны, а вклад субмикронных частиц подчиняется формуле Ангстрема $\beta_{sm}\lambda^{-\alpha}$:

$$\beta(\lambda) = \beta_{cd} + \beta_{sm}\lambda^{-\alpha}. \quad (3)$$

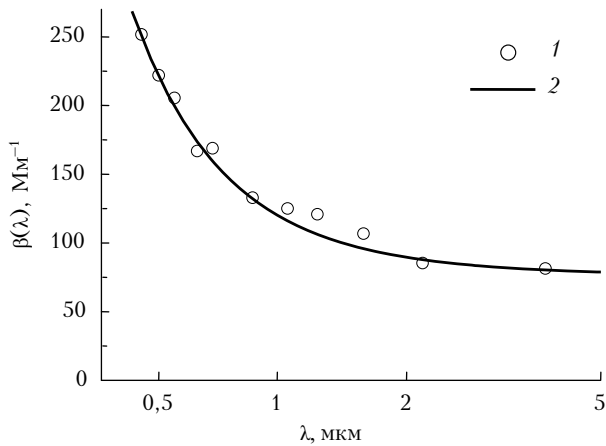


Рис. 1. Усредненная спектральная зависимость коэффициентов аэрозольного ослабления оптического излучения, измеренных на протяженной приземной трассе (1), и ее нелинейная аппроксимация (2)

Здесь β_{sm} равна значению восстановленного коэффициента ослабления излучения субмикронным аэрозолем для $\lambda = 1$ мкм. Такое представление, на наш взгляд, полезно при оценке усредненных по спектру вкладов в общее аэрозольное ослабление отдельно грубодисперсных и субмикронных частиц на разных длинах волн. Для средних значений коэффициентов $\beta(\lambda)$ наилучшая аппроксимация достигается при $\alpha = (1,58 \pm 0,18)$ и $\beta_{cd} = (75 \pm 8) \text{ Мм}^{-1}$ (кривая 2 на рис. 1).

Кроме того, были рассчитаны показатели Ангстрема α_s и α_{ab} , характеризующие спектральный ход вкладов в коэффициент ослабления компонент, обусловленных рассеянием $\beta_{sm}^s(\lambda)$ и поглощением $\beta_{sm}^{ab}(\lambda)$ субмикронными частицами:

$$\beta_{sm}^s(\lambda) = \beta^s \lambda^{-\alpha_s}, \quad (3a)$$

$$\beta_{sm}^{ab}(\lambda) = \beta^{ab} \lambda^{-\alpha_{ab}}. \quad (3b)$$

Для средних значений коэффициентов рассеяния $\beta_{sm}^s(\lambda)$ и поглощения $\beta_{sm}^{ab}(\lambda)$ были рассчитаны

величины констант. Для коэффициентов рассеяния $\beta^s = (24 \pm 1,6) \text{ Мм}^{-1}$, $\alpha_s = 1,65 \pm 0,10$, а для коэффициентов поглощения $\beta^{ab} = (13 \pm 0,4) \text{ Мм}^{-1}$, $\alpha_{ab} = 0,875 \pm 0,054$. Результаты аппроксимации приведены на рис. 2 сплошными линиями, а точки обозначены восстановленные с помощью выражений (2a), (2b) средние спектральные зависимости $\beta_{sm}^s(\lambda)$ и $\beta_{sm}^{ab}(\lambda)$.

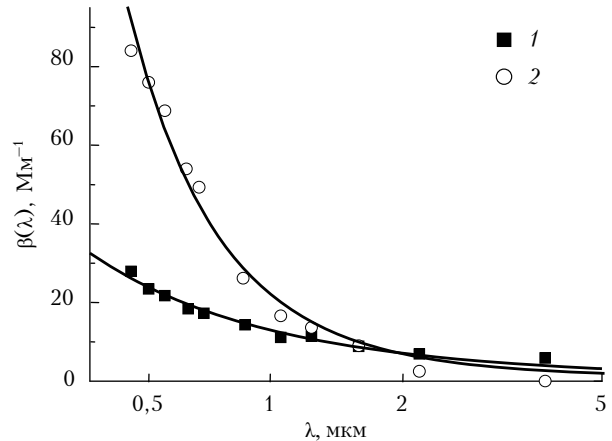


Рис. 2. Спектральная зависимость коэффициентов аэрозольного поглощения (1) и аэрозольного рассеяния (2) оптического излучения для субмикронных частиц. Сплошные кривые – результат аппроксимации по формуле Ангстрема

Видим, что значения показателя Ангстрема α для коэффициентов аэрозольного ослабления и рассеяния оказались весьма близкими – 1,58 и 1,65, а для коэффициентов поглощения существенно ниже – $\alpha_{ab} \sim 0,9$, причем эта величина практически совпала с оценкой спектрального хода аэрозольного поглощения, полученной оптоакустическим методом в работе [17]. Отсюда следует, что вклад в общий коэффициент ослабления частиц субмикронного диапазона превалирует в коротковолновом диапазоне, а с ростом длины волны быстро убывает [18]. Влияние субмикронного аэрозоля в диапазоне длин волн больше 1,6 мкм проявляется только в коэффициенте поглощения.

Полученная средняя спектральная зависимость восстановленных коэффициентов поглощения $\beta_{sm}^{ab}(\lambda)$ позволяет провести оценку альбедо однократного рассеяния $A(\lambda)$ в видимом и ИК-диапазонах спектра. Формально такая оценка была проведена как для общего аэрозольного ослабления оптической радиации $\beta(\lambda)$, включающего ослабление субмикронным и грубодисперсным аэрозолем:

$$A(\lambda) = (\beta(\lambda) - \beta_{sm}^{ab}(\lambda)) / \beta(\lambda),$$

так и для компоненты аэрозольного ослабления, обусловленной экстинкцией излучения только субмикронным аэрозолем $\beta_{sm}(\lambda)$:

$$A_{sm}(\lambda) = (\beta(\lambda) - \beta_{cd} - \beta_{sm}^{ab}(\lambda)) / (\beta(\lambda) - \beta_{cd}).$$

Величина $\beta_{cd} = 75 \text{ Мм}^{-1}$, обусловленная ослаблением излучения грубодисперсным аэрозолем, получе-

на из аппроксимации (3а). Спектральная зависимость $A(\lambda)$ и $A_{sm}(\lambda)$ для средних значений всех величин, полученных в измерениях, представлена на рис. 3, а. Кривая 1 относится к зависимости $A(\lambda)$, а кривая 2 – к $A_{sm}(\lambda)$. Видно, что с ростом длины волны альbedo однократного рассеяния $A(\lambda)$ возрастает (кривая 1 на рис. 3, а) с 0,89 на длине волны $\lambda = 0,55$ мкм до 0,93 для $\lambda = 3,9$ мкм. Альbedo однократного рассеяния, обусловленного только субмикронным аэрозолем, уменьшается от 0,85 на $\lambda = 0,55$ мкм до 0,1 на $\lambda = 3,9$ мкм (кривая 2 на рис. 3, а). Такое поведение спектральной зависимости $A_{sm}(\lambda)$ обусловлено тем, что с ростом длины волны доля рассеянного излучения субмикронным аэрозолем падает заметно быстрее по сравнению с поглощением (показатель Ангрстрема – 1,65 и 0,9 соответственно). В случае же спектрального хода суммарного $A(\lambda)$ с ростом длины волны увеличивается доля ослабления грубодисперсного аэрозоля, поглощающие свойства которого не определялись, а в рамках наших допущений не зависят от λ .

На рис. 3, б представлена корреляционная связь между i -ми значениями величины $A(\lambda)$ для этих же длин волн. Коэффициент корреляции составил

0,74. На рис. 3, в, г для длин волн 0,55 и 3,9 мкм приведены гистограммы распределения разных значений альbedo. Наиболее вероятные значения $A(\lambda)$ для 0,55 мкм находятся в пределах от 0,9 до 0,95, а для 3,9 мкм – от 0,95 до 1. Упрощенные оценки показывают, что при величине альbedo однократного рассеяния $A(\lambda) < 0,85$ аэрозольные частицы могут выступать как усилитель парникового эффекта. В случае $A(\lambda) > 0,85$ аэрозоль начинает играть роль выхолаживающей компоненты [1–4].

В таблице приведена спектральная структура корреляционной связи между рассчитанными и измеренными коэффициентами аэрозольного рассеяния и поглощения. Видно, что максимум корреляции ρ как для рассеяния, так и для поглощения приходится на видимую область спектра и составляет соответственно 0,95 и 0,76, а затем с ростом длины волны корреляция падает до $\rho = 0,1 \div 0,2$. Это обстоятельство однозначно указывает на то, что данный подход для восстановления коэффициентов аэрозольного ослабления на атмосферной трассе по данным измерений $\mu(45^\circ)$ и M_{BC} в локальном объеме с приемлемой точностью возможен только в видимом диапазоне длин волн.

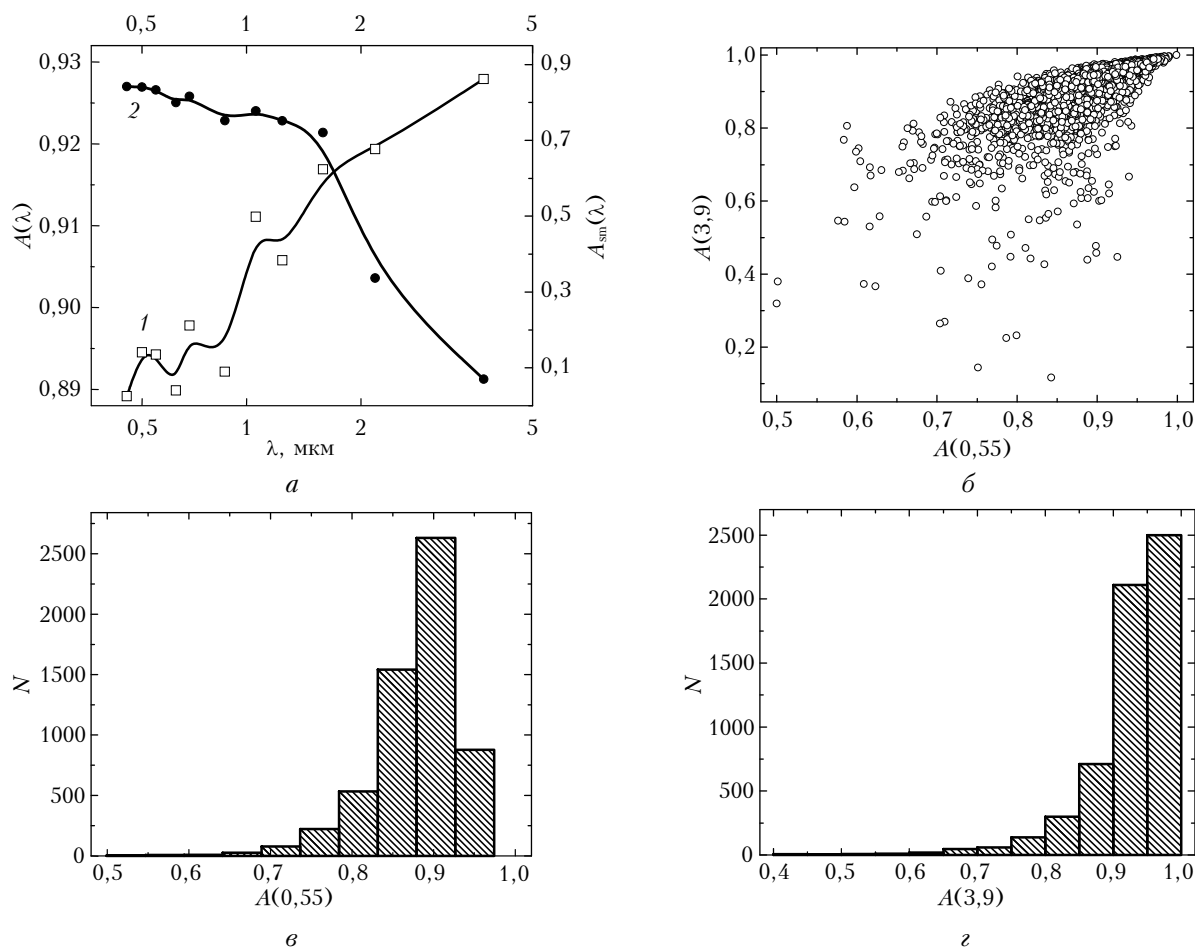


Рис. 3. Усредненная спектральная зависимость альbedo однократного рассеяния для измеренных значений $\beta(\lambda)$ ($A(\lambda)$ – кривая 1) и для компоненты, обусловленной ослаблением только субмикронного аэрозоля $\beta_{sm}(\lambda)$ ($A_{sm}(\lambda)$ – кривая 2) (а); корреляционная связь между альbedo однократного рассеяния на $\lambda = 0,55$ и 3,9 мкм (б); гистограммы распределения величины альbedo однократного рассеяния на длинах волн 0,55 (в) и 3,9 мкм (г)

С учетом высказанных ограничений предложенная модель (1) была протестирована на 10-дневном массиве синхронно измеренных коэффициентов $\beta(0,55)$, $\mu(45^\circ)$ и M_{BC} , полученных для средних замутнений в октябре 2010 г., и на массиве, включающем экстремально замутненные ситуации, наблюдавшиеся во время лесных пожаров в июле 2012 г. Результат такого тестирования приведен на рис. 4, где представлено сопоставление временного хода измеренного и рассчитанного по модели (1) коэффициента аэрозольного ослабления на длине волны $\lambda = 0,55$ мкм. Видно, что временной ход коэффициента $\beta(0,55)$, рассчитанный по модели (1), вполне удовлетворительно согласуется с данными натурных измерений (коэффициент взаимной корреляции между рассматриваемыми параметрами для 2010 г. составил 0,84, для 2012 г. — 0,98).

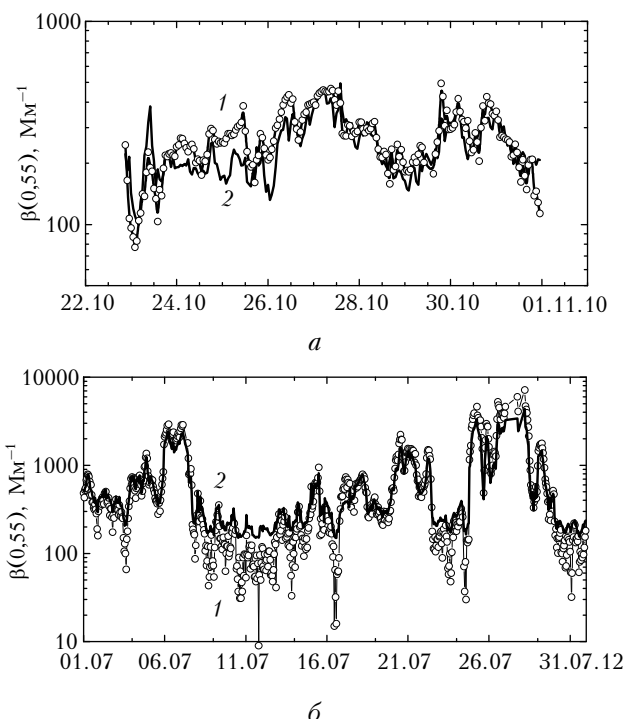


Рис. 4. Сопоставление временной изменчивости измеренного коэффициента $\beta(0,55)$ (кривая 1) и рассчитанного по модели (1) (кривая 2). Коэффициент корреляции между приведенными величинами составляет 0,84 для октября 2010 г. (а) и 0,98 для июля 2012 г. (б)

Заклучение

Проведенные исследования показали, что предложенная двухпараметрическая модель (1) дает возможность при необходимости восстанавливать коэффициенты аэрозольного ослабления в видимом диапазоне длин волн на протяженной приземной трассе по небольшому числу параметров, полученных в локальном объеме воздуха. С помощью двухпараметрической модели (1) получена оценка спектральной зависимости альbedo однократного рассеяния в диапазоне длин волн 0,45–3,9 мкм.

1. Розенберг Г.В. Тонкодисперсный аэрозоль и климат // Изв. АН СССР. Физика атмосф. и океана. 1982. Т. 18, № 11. С. 1192–1198.
2. Кондратьев К.Я. Аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. Прямое и косвенное воздействие на климат // Оптика атмосф. и океана. 2002. Т. 15. № 4. С. 301–320.
3. Кондратьев К.Я. Радиационное возмущающее воздействие, обусловленное аэрозолем // Оптика атмосф. и океана. 2003. Т. 16, № 1. С. 5–18.
4. Ивлев Л.С. Аэрозольное воздействие на климатические процессы // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 5. С. 392–410.
5. Hongbin Yu., Liu S.C., Dickinson R.E. Radiative effects of aerosols on the evolution of the atmospheric boundary layer // J. Geophys. Res. D. 2002. V. 107, N 12. P. AAC3/1–AAC3/14.
6. Бедарева Т.В., Журавлева Т.Б. Оценка аэрозольного поглощения в летних условиях Западной Сибири по данным солнечной фотометрии // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 12. С. 1023–1030.
7. Пхалагов Ю.А., Ужegov В.Н., Щелканов Н.Н. Автоматизированный многоволновой измеритель спектральной прозрачности атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 1992. Т. 5, № 6. С. 667–671.
8. Пхалагов Ю.А., Ужegov В.Н. Статистический метод разделения коэффициентов общего ослабления ИК-радиации на компоненты // Оптика атмосф. и океана. 1988. Т. 1, № 10. С. 3–11.
9. URL: <http://aerosol1.iao.ru>
10. Панченко М.В., Свириденков М.А., Терпугова С.А., Козлов В.С. Активная спектрофелометрия в исследовании микрофизических характеристик субмикронного аэрозоля // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17, № 5–6. С. 428–436.
11. Панченко М.В., Терпугова С.А., Докукина Т.А., Полькин В.В., Яушева Е.П. Многолетняя изменчивость конденсационной активности аэрозоля в г. Томске // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 4. С. 314–318.
12. Козлов В.С., Панченко М.В., Тихомиров А.Б., Тихомиров Б.А., Шмаргунов В.П. Влияние относительной влажности воздуха на результаты оптического измерения аэрозольного поглощения в приземном слое атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 4. С. 323–327.
13. Козлов В.С., Бурков В.В., Панченко М.В., Шмаргунов В.П. Оптический измеритель массовой концентрации поглощающего вещества аэрозоля (сажи) в воздухе // Наука – производству. 2003. № 9 (65). С. 15–19.
14. Ужegov В.Н., Пхалагов Ю.А., Панченко М.В., Козлов В.С., Терпугова С.А., Яушева Е.П. Статистическая оценка поглощения атмосферного аэрозоля по данным оптических измерений // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20, № 1. С. 25–30.
15. Кабанов М.В., Панченко М.В., Пхалагов Ю.А., Веретенников В.В., Ужegov В.Н., Фадеев В.Я. Оптические свойства прибрежных атмосферных дымок. Новосибирск: Наука, 1988. 201 с.
16. Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975. 648 с.
17. Tikhomirov A.B., Firsov K.M., Kozlov V.S., Panchenko M.V., Ponomarev Y.N., Tikhomirov B.A. Investigation of spectral dependence of shortwave radiation absorption by ambient aerosol using time-resolved photoacoustic technique // Opt. Eng 2005. V. 44, N 7. P. 071203-1–11.

18. Панченко М.В., Свириденков М.А., Емиленко А.С., Козлов В.С., Терпугова С.А., Ужегов В.Н., Докукина Т.А. Сопоставление оптических и микрофизиче-

ских характеристик аэрозоля в локальном объеме и на протяженной трассе // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20, № 6. С. 491–496.

Yu.A. Pkhalagov, V.N. Uzhegov, V.S. Kozlov, M.V. Panchenko, S.A. Terpugova, E.P. Yausheva. Retrieval of the aerosol extinction coefficients on a long near-ground path from data on the aerosol parameters in a local volume.

A two-parameter model is presented in this paper, which allows retrieving the aerosol extinction coefficients in the visible and IR wavelength ranges on a horizontal near-ground path using a small number of parameters obtained in a local volume of air. The input parameters of the model are the aerosol angular scattering coefficient at an angle of 45° at a wavelength of 0.52 μm and the mass concentration of crystal carbon in aerosol particles. The spectral dependence of the single scattering albedo in the wavelength range 0.4–3.9 μm is estimated.