

С.М. Сакерин, Д.М. Кабанов, Ю.А. Пхалагов, В.Н. Ужегов

Исследование одновременных вариаций аэрозольного ослабления радиации на горизонтальных и наклонных трассах

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 27.12.2001 г.

Рассматриваются статистические характеристики коэффициентов аэрозольного ослабления (ϵ_λ^A) и аэрозольных оптических толщ (τ_λ^A), полученных из одновременных измерений пропускания атмосферы в диапазоне длин волн 0,44 – 1,06 мкм на горизонтальных и наклонных трассах. На основе этих данных рассчитана высота однородной атмосферы $H_0(\lambda) = \tau_\lambda^A / \epsilon_\lambda^A$. Показано, что H_0 в области $\lambda = 0,44-0,56$ мкм составляет около 1 км, а в области $\lambda = 1,06$ мкм спадает до 0,6 км. Проведен анализ корреляционной связи параметров ϵ_λ^A и τ_λ^A . Показано, что в общем случае в летних условиях корреляция между ϵ_λ^A и τ_λ^A оказывается довольно слабой и составляет в видимой области спектра 0,36 – 0,37 при уровне значимости 0,16. Высказано предположение, что взаимосвязь этих оптических характеристик разрушается вследствие практически независимой динамики мелко- и грубодисперсного аэрозоля. С целью уменьшения вклада грубодисперсного аэрозоля в изменчивость параметров ϵ_λ^A и τ_λ^A проведено разделение их на мелко- и грубодисперсную компоненты. Показано, что для мелкодисперсных составляющих параметров ϵ_λ^A и τ_λ^A наблюдается некоторое увеличение их взаимной корреляции.

Введение

Несмотря на многолетнюю историю исследований аэрозольного ослабления радиации приземным слоем ϵ_λ^A и всей толщей атмосферы $\tau_\lambda^A = \int \epsilon_\lambda^A dh$, мало ра-

бот посвящено вопросу совместной изменчивости этих родственных характеристик (см., например, [1–6]). Причем для оценки коэффициентов аэрозольного ослабления ϵ_λ^A привлекались в определенной степени косвенные данные – либо инструментально-визуальные наблюдения метеорологической дальности видимости $S_m \approx 3,9 / \epsilon_{0,55}^A$, либо нефелометрические измерения угловых коэффициентов светорассеяния. В первом случае результаты имеют невысокую точность и дают представление о некотором эффективном коэффициенте ослабления для спектральной области чувствительности глаза. Нефелометрические измерения (как правило, одноугловые и для одной длины волны) с приемлемой точностью характеризуют лишь коэффициент рассеяния, обусловленный субмикронным аэрозолем.

Опубликованные результаты исследований двух характеристик прозрачности крайне противоречивы – от полного отсутствия их взаимосвязи [2] до наличия высокой корреляции при $S_m > 10-16$ км [4, 5]. По-видимому, наиболее реалистичны выводы работы [3], где рассмотрено более 400 случаев совместных измерений τ и S_m в районе п. Воейково (Ленинградская обл.) и показано, что коэффициент корреляции между ними не превышает 0,25–0,4. В этой связи следует упомянуть еще одну работу [7], где проанализированы вы-

сотные (0,3–3 км) взаимосвязи коэффициента рассеяния осушенного аэрозоля и возможности параметризации его вертикального профиля. Косвенно из [7] следует, что даже в этом случае (только для субмикронной компоненты осушенного аэрозоля) значимую корреляцию можно ожидать на основе классификации данных по атмосферным условиям – сезонам, синоптическим ситуациям, времени суток.

Относительно причин, разрушающих связь двух характеристик прозрачности, отметим следующее. Механизмы конвекции, турбулентности, трансформации свойств аэрозоля (под влиянием влажности и инсоляции), а также процессы, связанные с облачностью и сменой барических образований, могут играть разную роль в изменении аэрозольного ослабления в приземном слое и во всей толще. Одним из следствий является отличие реакции на суточную динамику атмосферных условий, вплоть до противоположного дневного хода τ_λ^A и ϵ_λ^A [1].

По совместным исследованиям спектральной зависимости ϵ_λ^A и τ_λ^A известна только одна работа [8]. Статистика вариаций и корреляции в ней не приводятся, а анализируется относительная величина $H_0(\lambda) = \tau_\lambda^A / \epsilon_\lambda^A$, которую можно определить как эффективную высоту или высоту однородного слоя аэрозоля. На ряде примеров показаны диапазон изменчивости высоты $H_0 \approx 0,44-1$ км и ее уменьшение с ростом длины волны.

На наш взгляд, интерес и важность проведения исследований совместной изменчивости спектральных характеристик ϵ_λ^A и τ_λ^A обусловлены двумя обстоятельствами. Во-первых, использование в радиационных

расчетах в качестве входного параметра, характеризующего аэрозольную оптическую толщину, дальности видимости S_m или другой оптической характеристики приземного слоя, требует более тщательного обоснования для различных типов оптической погоды и участков спектра. Во-вторых, анализ результатов совместных экспериментов позволит лучше понять процессы пространственно-временной трансформации различных фракций аэрозоля.

На первом этапе исследований были рассмотрены уже имеющиеся результаты независимых экспериментов с целью анализа наиболее общих свойств и особенностей вариаций ϵ_λ^A и τ_λ^A в различных участках спектра. Это позволяет определить подходы и задачи для последующих целенаправленных экспериментов.

1. Условия экспериментов

Для оценки вариаций и взаимосвязей ϵ_λ^A и τ_λ^A были использованы результаты независимо проведенных измерений горизонтальной и наклонной прозрачности атмосферы в районе г. Томска в теплые периоды 1995–2000 гг. При формировании совместного массива $\{\epsilon_\lambda^A; \tau_\lambda^A\}$ за основу был взят ряд наблюдений аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы (среднечасовые данные). Затем для сроков измерения τ_λ^A , путем интерполяции в пределах четырехчасовых интервалов, были рассчитаны соответствующие значения ϵ_λ^A . Общее представление о количестве отобранных данных в различные периоды измерений и

об атмосферных условиях можно получить из табл. 1. Дальность видимости S_m в период наблюдений была относительно высокой и менялась в пределах ~13–100 км.

Приведем краткую характеристику аппаратно-методических особенностей определения АОТ атмосферы и коэффициентов аэрозольного ослабления в приземном слое (табл. 2). Измерения спектральной прозрачности атмосферной толщи осуществлялись с помощью многоволнового солнечного фотометра [9], установленного на крыше здания, на высоте ~18 м над уровнем подстилающей поверхности. Наблюдения проводились короткими сериями продолжительностью ~5–30 мин, когда Солнце не было закрыто облаками. Затем из полученных данных рассчитывались среднечасовые значения. Методики калибровки фотометра и определения АОТ атмосферы, с использованием пакета программ LOWTRAN-7 [10], обобщены в работе [11]. Одновременно с аэрозольной компонентой солнечным фотометром измерялось общее влагосодержание атмосферы W . Поэтому в ряде случаев для сравнения привлекались данные по совместной изменчивости содержания водяного пара – интегральное и в приземном слое атмосферы.

Измерения горизонтальной прозрачности атмосферы проводились базовым методом с использованием автоматизированного фотометра [12]. Приземная трасса проходила на высотах от 12 до 5 м от уровня подстилающей поверхности. По полученным значениям сигналов прозрачности определялось общее ослабление излучения, а затем, с помощью метода множественной

Таблица 1

Количество данных $N \{\epsilon_\lambda^A \text{ и } \tau_\lambda^A\}$ и изменения диапазона метеопараметров				
Период	$N \{\tau_\lambda^A; \epsilon_\lambda^A\}$	$T, ^\circ\text{C}$	$a, \text{ г/м}^3$	$RH, \%$
12.06–15.07.1995	62	10,1–29,7	5,9–10,0	46,5–99,9
18.08–12.09.1997	14	7,7–21,9	3,7–7,7	48–80
22.06–28.06.1999	40	13,1–24,4	4,5–7,1	37–78,5
01.07–17.07.2000	28	12,7–25,5	4,6–7,8	35,7–85,3
1995–2000	144	7,7–29,7	3,7–10,0	35,7–99,9

Таблица 2

Основные характеристики измерителей прозрачности атмосферы	
<i>Солнечный фотометр</i>	
Максимумы полос пропускания интерференционных фильтров*, мкм	0,44; 0,48; 0,52; 0,55; 0,69 (0,67); 0,87; 1,06
Угол поля зрения, град	0,75
Количество замеров в среднечасовых значениях	10–40
Погрешность определения τ_λ^A	0,01
<i>Фотометр горизонтальной прозрачности</i>	
Максимумы полос пропускания интерференционных фильтров*, мкм	0,44; 0,48; 0,52; 0,55; 0,69; 0,84 (0,87); 1,06
Протяженность измерительной трассы, м	830
Количество замеров в среднечасовых значениях	6
Погрешность определения ϵ_λ^A , км ⁻¹	0,01

* Приведены λ_{max} только для сравниваемых спектральных участков двух приборов; в отдельные годы проводилась замена фильтров, соответствующие λ_{max} указаны в скобках.

линейной регрессии, выделялись коэффициенты аэрозольного ослабления ϵ_λ^A [13]. Периодичность измерительных циклов в 1995–1999 гг. была 4 ч, а в 2000 г. – 3 ч. Для сопоставления с АОТ атмосферы в дальнейшем проводилась интерполяция рассчитанных значений ϵ_λ^A .

В качестве примера на рис. 1 показана дневная изменчивость исследуемых характеристик.

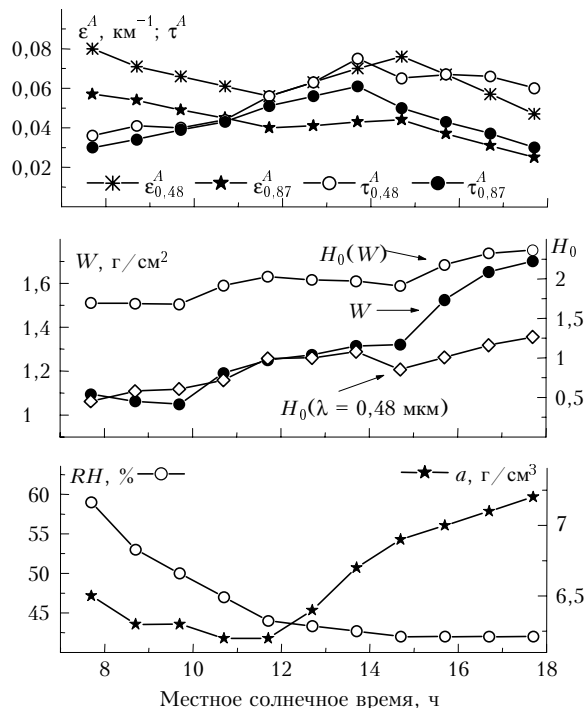


Рис. 1. Пример совместной изменчивости оптико-метеорологических характеристик

Из рис. 1 видно, что тенденции изменения τ_λ^A и ϵ_λ^A в разные периоды суток отличаются: до полудня – хотя и слабый, но противоположный ход; после полудня – качественно одинаковая зависимость с максимумом замутнения около 14 ч. Дневная динамика эффективной высоты аэрозоля и водяного пара была одинаковой – постоянное повышение высоты в течение дня.

2. Особенности спектральной зависимости ϵ_λ^A и τ_λ^A и высоты H_0

Для выяснения закономерностей изменчивости ϵ_λ^A и τ_λ^A в различных участках спектра была проведена статистическая обработка совместного массива данных, результаты которых приведены в табл. 3 и на рис. 2. Видно, что все статистические характеристики имеют одинаковый спектральный ход – монотонный спад с ростом длины волны. Спектральная зависимость проявилась даже в коэффициентах вариаций V , характеризующих относительную изменчивость. Тем не менее характер спектральной структуры для ϵ_λ^A и τ_λ^A различен (рис. 2,а). В частности, спектральная зависимость τ_λ^A , начиная с середины видимого диапазона, имеет более крутой ход и существенно меньшие абсолютные значения в ИК-области по сравнению с ϵ_λ^A . Степень селективности, оцененная с помощью параметра Ангстрема α :

$$\tau^A(\lambda) = \beta \lambda^{-\alpha}, \quad (1)$$

у АОТ атмосферы примерно в два раза выше (табл. 3). Из фактов большей селективности τ_λ^A и меньших

Таблица 3

Статистика τ_λ^A , ϵ_λ^A и H_0 ($V = \sigma_X / \bar{X}$ – коэффициенты вариаций), α_τ и α_ϵ – параметры Ангстрема

Параметр	λ , мкм	\bar{X}	σ_X	V	Min	Max
τ_λ^A	0,44	0,12	0,05	0,40	0,04	0,31
	0,48	0,11	0,04	0,40	0,03	0,29
	0,52	0,10	0,04	0,40	0,03	0,26
	0,56	0,09	0,04	0,41	0,03	0,23
	0,69	0,07	0,02	0,36	0,03	0,15
	0,87	0,05	0,02	0,36	0,02	0,12
	1,06	0,04	0,01	0,34	0,01	0,09
α_τ		1,23	0,51	0,42	0,01	2,54
ϵ_λ^A , км ⁻¹	0,44	0,13	0,06	0,45	0,04	0,39
	0,48	0,12	0,05	0,43	0,04	0,36
	0,52	0,11	0,05	0,44	0,03	0,34
	0,56	0,11	0,05	0,43	0,02	0,29
	0,69	0,10	0,04	0,43	0,02	0,26
	0,87	0,09	0,04	0,42	0,01	0,19
α_ϵ		0,54	0,30	0,56	0,07	1,83
H_0 , км	0,44	1,02	0,51	0,50	0,22	3,77
	0,48	0,98	0,46	0,46	0,22	2,67
	0,52	1,03	0,52	0,50	0,22	3,29
	0,56	1,01	0,67	0,68	0,22	5,95
	0,69	0,80	0,52	0,66	0,18	3,63
	0,87	0,74	0,58	0,79	0,18	4,57
	1,06	0,61	0,40	0,65	0,12	3,19

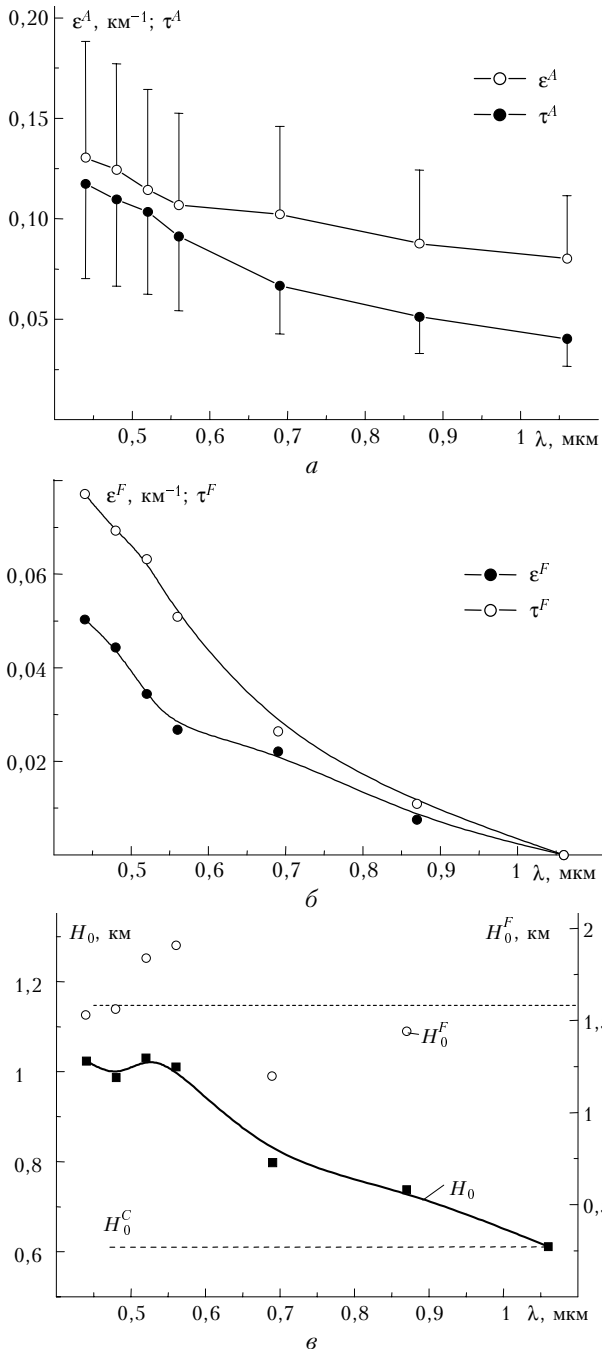


Рис. 2. Спектральный ход средних значений аэрозольного ослабления (а), мелкодисперсных компонентов (б) и эффективной высоты H_0 (в)

значений в ИК-области следует, что спектральные различия обусловлены, в первую очередь, большим содержанием в приземном слое грубодисперсного аэрозоля. (В принципе, это ожидаемый результат, и весь вопрос состоит в конкретных количественных характеристиках относительного вклада частиц разных размеров).

При интерпретации данных мы ограничились делением аэрозоля только на две фракции – мелко- и грубодисперсные (по их относительному размеру $x = 2\pi r/\lambda$):

а) относительный размер мелкодисперсных частиц лежит в области до первого максимума фактора эффективности ослабления, что приводит к степенной зависимости ослабления от λ ;

б) грубодисперсные частицы размером x в области после первого максимума определяют квазилинейную спектральную зависимость аэрозольного ослабления.

Оптический вклад мелко- и грубодисперсного аэрозоля можно оценить, если представить характеристики ослабления в виде двух компонент (напримр, для коэффициента ϵ_λ^A):

$$\epsilon_\lambda^A = \epsilon^F(\lambda) + \epsilon^C \approx \epsilon_\lambda^F + \epsilon_{1,06}^A, \quad (2)$$

где индексом F обозначена селективная составляющая мелких частиц, а C – вклад грубодисперсной фракции. Из рис. 2,б видно, что спектральные зависимости ϵ_λ^F и τ_λ^F тоже отличаются селективностью, по-видимому, из-за разных характеристик мелкодисперсной фракции в приземном слое и во всей толще. Однако без обращения оптических данных и оценочного характера проведенного разделения (2) делать какие-то выводы преждевременно.

Наличие спектральных особенностей ϵ_λ^A , τ_λ^A проявилось и в поведении эффективной высоты H_0 , которая дает представление о вертикальном профиле аэрозольного ослабления. В видимом диапазоне высота $H_0 \approx 1$ км остается на одном уровне (см. табл. 3 и рис. 2,в), а затем быстро спадает с ростом длины волны. Большая дисперсия эффективной высоты может вызвать сомнения в достоверности спектральной зависимости. Расчеты, проведенные по критерию Стьюдента, показали, что различия H_0 в диапазоне 0,44–0,56 мкм не значимы, а перепад с диапазоном 1,06 мкм значим с доверительной вероятностью 0,997. Уменьшение эффективной высоты в ИК-области – вполне ожидаемый результат, поскольку грубодисперсный аэрозоль сосредоточен в основном в нижнем слое. Мелкие частицы лучше выносятся и сохраняются в атмосфере, поэтому средняя величина H_0^F составляет около 1,6 км. Наличие спектрального хода $H_0(\lambda)$ отражает перераспределение роли двух фракций в разных участках спектра. Отметим также, что относительная изменчивость H_0 возрастает в ИК-диапазоне, что свидетельствует о значительных вариациях содержания грубодисперсного аэрозоля непосредственно у поверхности земли.

Для сравнения приведем значения эффективной высоты H_0 , полученные другими авторами для середины видимого диапазона: 0,7+2; ~1,3 и 0,5–1 км соответственно в работах [4, 5, 8]. По сравнению с аэрозолем вертикальное распределение молекулярного рассеяния и содержания водяного пара в атмосфере более однородно, их эффективные высоты составляют 8 км и около 2 км (в летних условиях [14]) соответственно. Для рассматриваемого массива данных средняя высота H_0 водяного пара составила 1,9 км.

3. Корреляции и собственные векторы

Степень взаимосвязи межволновых значений характеристик аэрозольного ослабления можно оценить по коэффициентам корреляции $\rho_\epsilon(0,44; \lambda_i)$ и $\rho_\tau(0,44; \lambda_i)$, приведенным в табл. 4. (Для рассматриваемого массива критическое значение корреляции с доверительной вероятностью 0,95 составляет 0,16).

Таблица 4

Коэффициенты взаимной корреляции аэрозольного ослабления

λ , мкм	0,44	0,48	0,52	0,56	0,69	0,87	1,06
$\rho_\epsilon(0,44; \lambda_i)$	1	0,99	0,99	0,96	0,91	0,85	0,83
$\rho_\tau(0,44; \lambda_i)$	1	0,99	0,99	0,99	0,91	0,73	0,42
$\rho(\tau, \epsilon)$	0,37	0,36	0,33	0,26	0,15	0,01	-0,04

Среди спектральных особенностей отметим, что у приземных коэффициентов ϵ_λ^A сохраняются более высокие значения корреляции при увеличении длины волны. Наиболее вероятная причина, по-видимому, та же – различный вклад грубодисперсных частиц в формирование аэрозольного замутнения в приземном слое и во всей толще атмосферы. Например, в области 0,44 мкм вклад грубодисперсной фракции в приземном слое составляет 61%, а для атмосферной толщи – только 30%. Поэтому вариации τ^C слабо прояв-

ляются в величине τ_λ^A в коротковолновой области спектра. Добавим, что низкие значения АОТ в области 1,06 мкм приближаются к погрешности ($\Delta\tau \sim 0,01-0,015$). Как следствие, в дисперсии вариаций $\tau_{1,06}^A$ становится заметной шумовая составляющая, не связанная с аэрозолем.

Для приземного слоя ситуация иная – значимый вклад ϵ^C сохраняется во всем диапазоне и вариации грубодисперсного аэрозоля обеспечивают согласованное изменение ϵ_λ^A . Таким образом, можно заключить, что корреляция $\rho_\tau(0,44; \lambda_i)$ преимущественно связана с мелкими частицами и вместе с τ_λ^F быстро убывает с ростом длины волны. Более высокая корреляция $\rho_\epsilon(0,44; \lambda_i)$, в основном, поддерживается грубодисперсным аэрозолем.

Относительно статистической связи АОТ и коэффициентов ослабления можно отметить, что значимая корреляция наблюдается лишь в области до 0,56 мкм (см. нижнюю строку табл. 4). Практически независимая динамика мелко- и грубодисперсного аэрозоля (тем более в разных слоях атмосферы) и их разный оптический вклад в формирование τ_λ^A и ϵ_λ^A приводят к ослаблению и полному разрушению взаимосвязи оптических характеристик (рис. 3,а,б). Даже выделение только мелкодисперсных составляющих – ϵ_λ^F , τ_λ^F несущественно увеличивает их корреляцию (рис. 3,в).

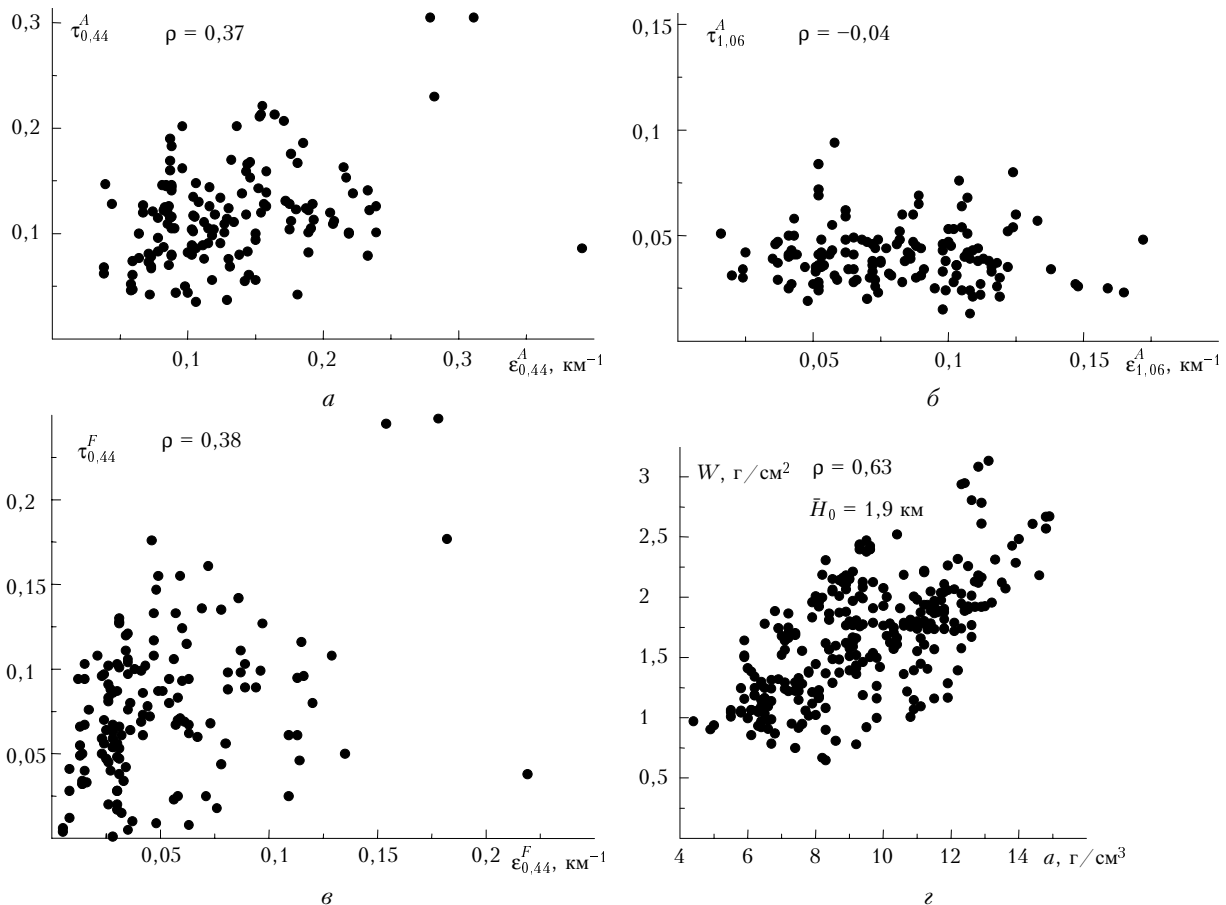


Рис. 3. Диаграммы рассеяния различных компонент аэрозольного ослабления и влажности

Необходимо также указать возможные методические причины плохой взаимосвязи приземного и интегрального ослабления радиации. Очевидно, что содержание и вариации грубодисперсного аэрозоля наиболее значительны вблизи поверхности. Поэтому при разной высоте измерителей прозрачности (~8 и 18 м) часть аэрозоля, регистрируемая в приземном слое, не достигает уровня солнечного фотометра. Влияние различия измерительных трасс в какой-то степени следует отнести и к субмикронному аэрозолю. Кроме того, малое увеличение корреляции с переходом к мелкодисперсным компонентам $\{\epsilon_\lambda^F, \tau_\lambda^F\}$ связано с грубым разделением аэрозольного ослабления на две составляющие (2), в предположении $\tau^C = \tau_{1,06}^A$ (правильнее использовать значения в области 2–4 мкм, но таких данных не было).

Для сравнения на рис. 3, г показана взаимосвязь характеристик влажности. Несмотря на различие процессов, связанных с влажностью в приземном слое и в столбе атмосферы (например, отток водяного пара в облачность), корреляция остается достаточно высокой – 0,63. Как следствие, эффективная высота водяного пара более устойчива и мало меняется в пределах одного сезона.

Наличие автокорреляционных матриц $\rho_{\epsilon(\lambda)\epsilon(\lambda_k)}$, $\rho_{\tau(\lambda)\tau(\lambda_k)}$ и $\rho_{H_0(\lambda)H_0(\lambda_k)}$ позволяет рассчитать собственные векторы $\phi(\lambda)$ и собственные числа (μ) этих матриц [15], анализ которых формально дает возможность оценить количество факторов, формирующих спектральную структуру параметров τ_λ^A , ϵ_λ^A и H_0 . На рис. 4 представлен спектральный ход первых двух собственных

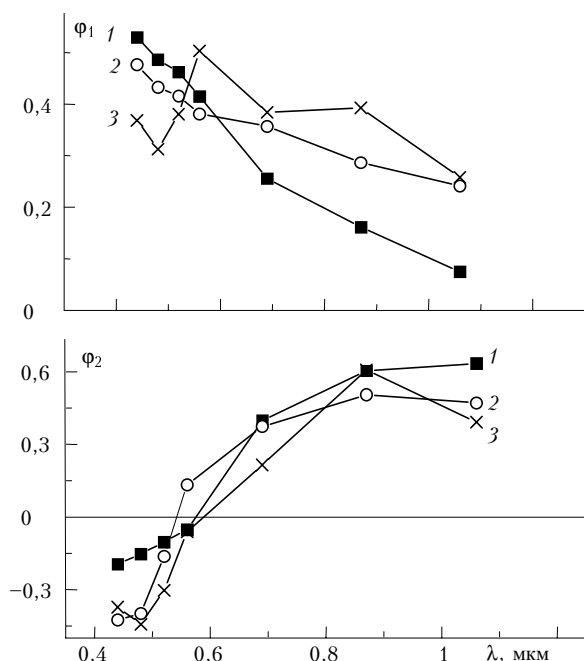


Рис. 4. Спектральный ход первых двух собственных векторов автокорреляционных матриц τ_λ^A (1), ϵ_λ^A (2) и H_0 (3)

векторов $\phi_1(\lambda)$ и $\phi_2(\lambda)$ автокорреляционных матриц $\rho_{\epsilon(\lambda)\epsilon(\lambda_k)}$, $\rho_{\tau(\lambda)\tau(\lambda_k)}$ и $\rho_{H_0(\lambda)H_0(\lambda_k)}$ (кривые 1–3 соответ-

ственно), а в табл. 5 приведены собственные числа μ_1 и μ_2 , характеризующие долю дисперсии измеряемых величин, приходящуюся на эти векторы.

Таблица 5

Собственные числа автокорреляционных матриц

Параметр	Собственное число	
	μ_1	μ_2
τ_λ^A	0,948	0,040
ϵ_λ^A	0,949	0,044
H_0	0,885	0,077

Анализ данных рис. 4 и табл. 5 позволяет отметить следующее:

Спектр вектора $\phi_1(\lambda)$ для τ_λ^A (кривая 1) как по характеру спектрального хода, так и по абсолютной величине существенно отличается от ϵ_λ^A (кривая 2). Это подтверждает сделанный выше вывод о доминантной роли мелкодисперсного аэрозоля в изменчивости τ_λ^A и существенно меньшем относительном вкладе этих частиц в вариации величины ϵ_λ^A .

Спектр вектора $\phi_1(\lambda)$ для H_0 имеет выраженный минимум на $\lambda = 0,48$ мкм и максимумы на $\lambda = 0,56$ и $0,87$ мкм. В настоящее время немонотонную структуру $\phi_1(\lambda)$ однозначно интерпретировать сложно. Необходимо дополнительные исследования.

Для параметров τ_λ^A и ϵ_λ^A на первый собственный вектор, отражающий вклад знакопостоянных по спектру вариаций этих величин, приходится почти по 95% дисперсии, а на второй вектор, отражающий вклад знакопеременных вариаций, по 4%.

Что касается вектора $\phi_1(\lambda)$ для H_0 , то в данном массиве на него приходится только 88% дисперсии и около 8% – на второй.

Заключение

Проведенный анализ показал, что в летних условиях относительно высокой прозрачности атмосферы ($S_m > 13$ км) корреляция характеристик аэрозольного ослабления в приземном слое и во всей толще слабая и значима только в видимой области спектра. Первопричиной плохой взаимосвязи является разный оптический вклад в τ_λ^A и ϵ_λ^A грубо- и мелкодисперсного аэрозоля, динамика которых практически независима и имеет особенности на разных высотах. Различие оптического влияния двух фракций на τ_λ^A и ϵ_λ^A хорошо проявилось в разной селективности их спектрального хода ($\alpha_\tau = 1,23$; $\alpha_\epsilon = 0,54$) и значимом уменьшении эффективной высоты – H_0 (от ~1 до 0,6 км) с ростом длины волны. Фактически, в зависимости $H_0(\lambda)$ отражается перераспределение вклада двух фракций, каждая из которых имеет существенно разные эффективные высоты – $H_0^F \sim 1,6$ км, $H_0^C \sim 0,6$ км.

Особо следует отметить роль грубодисперсного аэрозоля, который вносит основной вклад (по средней величине и дисперсии) в приземном слое и не столь значим для столба атмосферы. Поэтому успех

моделирования связи τ_{λ}^A и ϵ_{λ}^A в первую очередь будет зависеть от возможности параметризации грубодисперсной компоненты ослабления (тем более, что реализуемость аналогичной задачи для субмикронного аэрозоля уже демонстрировалась [7]).

Полученные результаты позволили выделить вопросы и подходы для продолжения исследований. Во-первых, для снижения многообразия внешних условий целесообразно рассмотреть совместную изменчивость τ_{λ}^A и ϵ_{λ}^A в рамках отдельных сезонов и синоптических ситуаций. Во-вторых, в дальнейшем потребуется индивидуальный анализ дневной динамики мелко- и грубодисперсной компонент τ_{λ}^A , ϵ_{λ}^A (из-за разной реакции на внешние условия) и определение наиболее значимых метеорологических предикторов. В этой связи стала более очевидной необходимость обращения оптических данных $\{\tau_{\lambda}^A, \epsilon_{\lambda}^A\}$, которое позволит более детально проанализировать особенности процессов трансформации аэрозоля в приземном слое и во всей толще атмосферы.

Авторы благодарят Р.Ф. Рахимова за полезные обсуждения материалов данной статьи.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 01-05-65197).

1. *Бартенева О.Д., Довгялло Е.Н., Полякова Е.А.* Экспериментальные исследования оптических свойств приземного слоя атмосферы // Тр. ГГО. 1967. Вып. 220. С. 5–19.
2. *Бартенева О.Д., Никитинская Н.И., Сакунов Г.Г., Веселова Л.К.* Прозрачность толщи атмосферы в видимой и ближней ИК-области спектра. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 224 с.
3. *Бусыгин В.П., Дмитриева Л.Р., Евстратов Н.А.* О статистической связи между оптической толщиной атмосферы и метеорологической дальностью видимости // Тр. ГГО. 1981. Вып. 448. С. 64–69.
4. *Kaufman Y.J., Fraser R.S.* Light extinction by aerosols during summer air pollution // J. clim. and appl. meteorol. 1983. V. 22. № 10. P. 1694–1706.

5. *Uboegbulam T.C., Davies J.A.* Turbidity in Eastern Canada // J. clim. and appl. meteorol. 1983. V. 22. № 8. P. 1384–1392.
6. *Peterson J.T., Flowers E.C., Berri G.J., Reynolds C.L., Rudisill J.H.* Atmospheric turbidity over Central North Carolina // J. Appl. Meteorol. 1981. V. 20. № 3. P. 229–241.
7. *Панченко М.В., Терпугова С.А.* Применение трехслойного представления для описания вертикального профиля содержания субмикронного аэрозоля в нижней тропосфере // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12. № 12. С. 1093–1097.
8. *Лукишин В.В., Горчаков Г.И., Смирнов А.С.* Спектральная прозрачность атмосферы // Результаты комплексного аэрозольного эксперимента ОДАЭКС-87. Томск: Изд-е ТНЦ СО АН СССР, 1989. С. 70–76.
9. *Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Турчинович С.А.* Солнечные многоволновые фотометры для исследования прямой радиации и аэрозольно-газового состава атмосферы // Региональный мониторинг Сибири. Ч. 2 / Под ред. М.В. Кабанова. Томск: Изд-во «Спектр», 1997. С. 131–145.
10. *Kneizys F.X., Shettle E.P., Abreu L.W., Chetwynd J.H., Anderson J.P., Gallery W.O., Selby J.E.A., and Clough S.A.* Users Guide to LOWTRAN-7. AFGL-TR-0177. 1988. 137 p.
11. *Sakerin S.M., Kabanov D.M.* Spatial inhomogeneities and the spectral behavior of atmospheric aerosol optical depth over the Atlantic Ocean // J. Atmos. Sci. 2002. V. 59. № 3. Pt 1. P. 484–500.
12. *Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н.* Автоматизированный многоволновой измеритель спектральной прозрачности приземной атмосферы // Оптика атмосфер. и океана. 1992. Т. 5. № 6. С. 667–671.
13. *Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н.* Статистический метод разделения коэффициентов общего ослабления ИК-радиации на компоненты // Оптика атмосфер. 1988. Т. 1. № 10. С. 3–11.
14. *Кабанов Д.М., Сакерин С.М.* Об использовании локальных и интегральных характеристик влажности для оценки вертикальных профилей // Оптика атмосфер. и океана. 1997. Т. 10. № 1. С. 87–96.
15. *Обухов А.М.* О статистических ортогональных разложениях эмпирических функций // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1960. Т. 1. № 3. С. 432–439.

S.M. Sakerin, D.M. Kabanov, Yu.A. Pkhalagov, V.N. Uzhegov. The study of simultaneous variations of the aerosol extinction of light on horizontal and slant paths.

Statistical characteristics of the aerosol extinction coefficients (ϵ_{λ}^A) and aerosol optical thickness (τ_{λ}^A) assessed from simultaneous measurements of atmospheric transparency in the wavelength range 0.44 to 1.06 μm on horizontal and slant paths are considered in this paper. The height of the homogeneous atmosphere $H_0(\lambda) = \tau_{\lambda}^A / \epsilon_{\lambda}^A$ is calculated from these data. It is shown that H_0 in the range $\lambda = 0.44 - 0.56 \mu\text{m}$ is about 1 km, and it decreases to 0.6 km at $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$. Analysis of correlation between ϵ_{λ}^A and τ_{λ}^A was carried out. It is shown that, in general case, correlation between ϵ_{λ}^A and τ_{λ}^A in summer is fairly weak, its value is 0.36–0.37 in the visible wavelength range at the level of significance of 0.16. It is supposed that correlation between these optical characteristics is broken due to practically independent dynamics of fine and coarse aerosol particles. In order to decrease the contribution of coarse aerosol into the variability of ϵ_{λ}^A and τ_{λ}^A , they were divided into fine and coarse components. It is shown that some increase of correlation between finely dispersed components of ϵ_{λ}^A and τ_{λ}^A is observed.