

С.М. Сакерин¹, Д.М. Кабанов¹, М.В. Панченко¹, В.В. Полькин¹,
Б.Н. Холбен², А.В. Смирнов², С.А. Береснев³, С.Ю. Горда³, Г.И. Корниенко⁴,
С.В. Николашкин⁵, В.А. Поддубный⁶, М.А. Тацилин⁷

Результаты мониторинга атмосферного аэрозоля в азиатской части России по программе AEROSIBNET в 2004 г.

¹ *Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, Россия*

² *Годдардский центр космических полетов, НАСА, г. Гринбелт, США*

³ *Уральский государственный университет, г. Екатеринбург, Россия*

⁴ *Уссурийская астрофизическая обсерватория ДВО РАН, г. Уссурийск, Россия*

⁵ *Институт космофизических исследований и аэронауки СО РАН, г. Якутск, Россия*

⁶ *Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

⁷ *Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия*

Поступила в редакцию 12.07.2005 г.

Описываются вопросы организации сетевых наблюдений атмосферного аэрозоля в азиатской части России по программе AERONET с использованием автоматизированных солнечных фотометров. Обсуждаются предварительные результаты измерений аэрозольной оптической толщи, альbedo однократного рассеяния и микроструктуры аэрозоля, полученных в районах Томска, Якутска и Екатеринбурга.

Введение

Аэрозоль, наряду с парниковыми газами и облачностью, играет важную роль в радиационно-климатических процессах. Одним из эффективных подходов определения оптических характеристик атмосферного аэрозоля являются методы фотометрии прямого («метод прозрачности») и рассеянного солнечного излучения. В настоящее время наиболее развитой системой, с точки зрения автоматизации измерений, оперативности получения данных и глобального охвата, является сеть аэрозольных наблюдений AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>). Громадные пространства азиатской части России до последнего времени практически не были вовлечены в глобальную систему аэрозольного мониторинга, несмотря на важнейшую роль территории в аэрозольно-газовых обменах и климатических процессах.

В Томске исследования аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы начали проводиться с 1992 г. в режиме отдельных циклов, а затем регулярных измерений [1, 2]. Сдерживающим фактором углубления и расширения работ было отсутствие приборно-алгоритмической базы, обеспечивающей единообразное (с другими странами и регионами) определение характеристик аэрозоля. Такая возможность открылась после заключения Соглашения с Годдардским центром космических полетов (GSFC/НАСА, США) об установке в Сибири нескольких фотометров CE 318 сети AERONET и про-

ведении совместных исследований атмосферного аэрозоля в условиях бореальной климатической зоны.

В данной статье обсуждаются результаты первого этапа аэрозольного мониторинга, проводимого по программе AEROSIBNET на территории от Урала до Приморья — вблизи гг. Екатеринбург, Томск, Якутск, Иркутск, Уссурийск. Основное внимание уделяется обсуждению особенностей оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в различных районах на примере 2004 г. Кроме того, сопоставляются результаты определения АОТ атмосферы двумя типами фотометров (CE 318 и SP-4) [2] и анализируется вопрос искажения получаемых данных «остаточным влиянием полупрозрачной облачности».

1. Организация регулярных наблюдений

Организацией сетевого мониторинга характеристик атмосферного аэрозоля на территории Сибири (AEROSIBNET) преследуются долговременные цели — уточнение климатического воздействия аэрозоля, выявление особенностей пространственно-временной изменчивости и оценки роли местных, региональных и глобальных факторов. К настоящему времени оборудованы пункты и организовано наблюдение в следующих районах: в Томске — с октября 2003 г.; в п. Торы — с декабря 2003 г. (с годичным перерывом в 2004 г.); вблизи Якутска

и Екатеринбурга — с июня 2004 г.; вблизи Уссурийска — с ноября 2004 г. Приведем краткую климато-географическую характеристику районов наблюдений.

1. Измерения в Томске проводятся в пригородной лесной зоне на востоке от города, высота фотометра над уровнем океана ~120 м, над уровнем земли ~18 м. Район наблюдений находится на юго-востоке Западной Сибири, в междуречье рр. Обь и Томь. Здесь, как и в других районах умеренных широт, преобладает западный перенос воздушных масс. Согласно [3], климат Томска — промежуточный между умеренно влажным, теплым климатом европейской части России и резко континентальным климатом Восточной Сибири. В холодное время район находится под влиянием северной части азиатского антициклона и характеризуется устойчивыми температурными инверсиями, средняя температура в декабре–январе $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. В летнее время преобладающими являются слабые ветры южного направления (26%), средняя температура воздуха (июль) $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$, повторяемость воздушных масс: континентальный умеренный воздух 59%, арктический воздух 21%. Отметим также, что в засушливые периоды характерной особенностью (как и для других районов Сибири) являются крупные лесные пожары.

2. В качестве второго пункта наблюдений был выбран п. Торы (на территории геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН), расположенный в Тункинской долине (р. Иркут), примерно в 50 км западнее Байкала. Высота установки фотометра над уровнем земли 2,5 м, над уровнем океана ~670 м. Климат долины резко континентальный, в холодную часть года господствует азиатский антициклон. Зимой преобладают ясные дни, морозы достигают $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, снега, как правило, мало (30–35 см). Из-за отсутствия загрязненности снежный покров вызывает усиленное отражение солнечной радиации. Для весны характерна ненастная погода с частыми небольшими снегопадами. Лето в первой половине жаркое (температура до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$), во второй половине часто бывают дожди. Осень продолжительная, с ясными теплыми днями (по количеству солнечных дней долина превосходит южный берег Крыма).

3. Измерения в Якутии организованы на научном полигоне ШАЛ (широкие атмосферные ливни космических лучей сверхвысоких энергий), расположенном в долине р. Лена в 50 км юго-западнее г. Якутска. Высота установки прибора 8 м над уровнем земли и ~110 м над уровнем океана. Климат резко континентальный сухой: в июле температура достигает $+38\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в зимнее время опускается до $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Преобладает ветер западного и северо-западного направления, среднегодовое количество осадков 247 мм. В летнее время нередки лесные пожары, дым от которых покрывает всю долину на нескольких дней. В зимнее время, особенно во время морозов ниже $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$, появляется морозный туман, растекающийся по долине. Важно отметить, что станция ШАЛ расположена на субавроральных широтах, где нередко во время сильных и умерен-

ных геомагнитных бурь наблюдаются полярные сияния и почти всегда диффузное фоновое свечение атмосферы.

4. На Урале наблюдения ведутся на территории Коуровской астрономической обсерватории УрГУ, расположенной в лесном массиве вблизи д. Слобода примерно в 65 км северо-восточнее г. Екатеринбурга. Высота установки фотометра над уровнем земли ~7 м, над уровнем океана ~300 м. Климат района можно характеризовать как умеренно континентальный, преимущественное направление ветров — с запада на восток. Зима характеризуется достаточно сильными снегопадами, в теплый период частыми являются сильные грозы, а также туманы из-за близости к р. Чусовой. Хотя район в целом можно характеризовать как «фоновый», нельзя не учитывать близости крупных центров металлургической промышленности — в первую очередь заводы г. Первоуральска и Ревды.

5. В Приморье наблюдения проводятся в лесной зоне на территории Уссурийской астрофизической обсерватории (п. Горнотаежное), в 80 км от побережья Японского моря и в 25 км от г. Уссурийска в районе с малым техногенным воздействием на атмосферу. Фотометр установлен на высоте 280 м над уровнем моря и 10 м над уровнем земли. Обсерватория расположена вблизи границы зон муссонного и континентального климатов. В зимнее время перенос воздушных масс происходит преимущественно с севера и северо-запада, а в летние месяцы — с юга и юго-востока. Средняя температура января $-14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, июля $+20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Зимние месяцы характеризуются большим количеством ясных дней, среднее количество осадков в январе 13 мм. Летом ясных дней меньше, часты тайфуны, приносящие большое количество осадков (до 340 мм за 1 мес).

Районы наблюдений охватывают достаточно большую территорию (рис. 1) от $43,7$ до $61,7^{\circ}$ с.ш. и от $59,6$ до $132,2^{\circ}$ в.д., благодаря чему существенно снижается дефицит информации о характеристиках аэрозоля в северной части Азии.

В проведении исследований кроме ИОА СО РАН и GSFC/NASA участвуют: Институт солнечно-земной физики СО РАН, Институт космических исследований и аэронавтики СО РАН, Уссурийская астрофизическая обсерватория ДВО РАН, Уральский государственный университет и Институт промышленной экологии УрО РАН.

Отдельно дадим краткую характеристику AERONET [4]. В настоящее время автоматизированная сеть аэрозольных наблюдений насчитывает более 120 станций — Sun-Sky фотометров CE 318 на всех континентах планеты. На территории России, кроме вышеуказанных районов, наблюдения ведутся в Красноярске (ранее в Барнауле) и Москве. В базовом варианте прибора прямая радиация измеряется (каждые ~15 мин) на длинах волн 0,34; 0,38; 0,44; 0,50; 0,67; 0,87; 0,94; 1,02 мкм. Полученные данные используются для определения АОТ в семи спектральных участках и влагосодержания атмосферы (канал 0,94 мкм). Погрешность определения АОТ атмосферы составляет $\pm 0,01 \pm 0,02$.

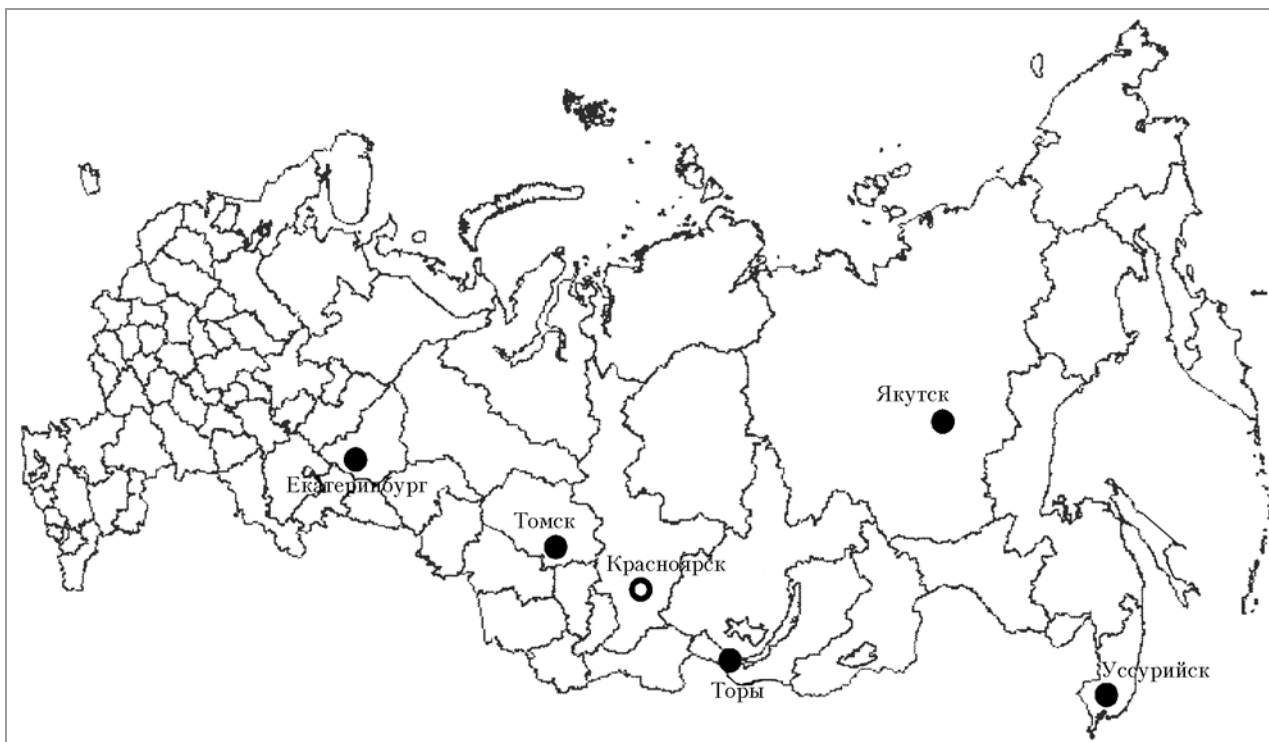


Рис. 1. Карта расположения фотометров AERONET на территории Сибири

Измерения рассеянной радиации на альмукантарате Солнца и в главной плоскости проводятся на четырех длинах волн – 0,44; 0,50; 0,67 и 0,87 мкм, в среднем один раз в час.

Важным достоинством сети AERONET является высокая информативность. Благодаря применению современных методов решения обратных задач [4–6], кроме АОТ и влагосодержания атмосферы восстанавливаются микроструктура аэрозоля, показатель преломления, индикатриса рассеяния, фактор асимметрии и альbedo однократного рассеяния (АОР) аэрозоля. Последняя характеристика имеет, пожалуй, наибольшую неопределенность с точки зрения радиационного форсинга аэрозоля.

2. Сопоставление результатов измерений двух фотометров

Качество мониторинговых наблюдений (особенно долговременных и на сети станций) определяется единообразием результатов, получаемых в разные периоды, иногда различными измерительными средствами. Для решения этой задачи необходимы регулярные калибровки (обычно каждые 6–12 мес), а также сравнение показаний различных фотометров с учетом методик расчета искомых характеристик. Так как в Томске до 2003 г. в измерениях использовались фотометры типа SP-4 для обоснования взаимной сопоставимости рядов наблюдений, было важным провести сравнение с данными фотометра CE 318. Выборочные сравнения двух фотометров (на небольшом массиве данных) были проведены еще в 2003 г. Несмотря на отличие приборов и методик расчета АОТ, полученные ре-

зультаты оказались достаточно близкими. Более полное сопоставление проведено после годичного периода наблюдений (1337 единичных циклов). На рис. 2 иллюстрируются результаты сравнения АОТ атмосферы – τ_λ для одной из «базовых» (по рекомендациям ВМО) длин волн – 0,50 мкм.

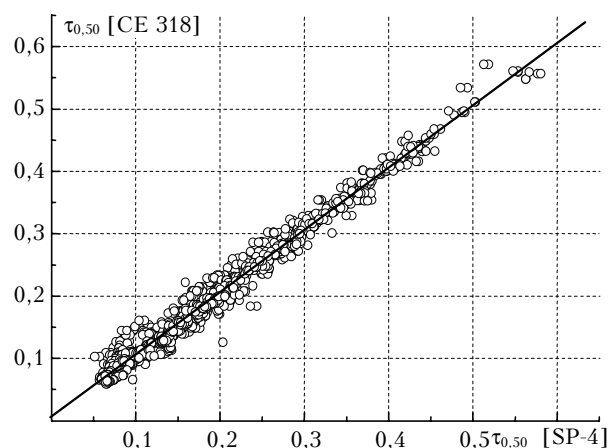


Рис. 2. Диаграмма рассеяния τ_λ по результатам наблюдений фотометров CE 318 и SP-4

Для количественной характеристики различий данных двух приборов: SP-4 и CE 318, были рассчитаны параметры a и b уравнения линейной регрессии:

$$\tau_\lambda^{\text{CE318}} = (a \pm \Delta a) + (b \pm \Delta b) \tau_\lambda^{\text{SP-4}},$$

а также среднеквадратические отклонения (СКО) и коэффициенты взаимной корреляции R .

Указанные характеристики для парных длин волн фотометров приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры уравнения регрессии АОТ, измеренные двумя фотометрами

$\lambda_{\text{CE 318}} - \lambda_{\text{SP-4}}$, мкм	$a \pm \Delta a$	$b \pm \Delta b$	СКО	R
0,38–0,371	$0,026 \pm 0,002$	$0,897 \pm 0,005$	0,033	0,976
0,44–0,438	$-6,019 \cdot 10^{-4} \pm 0,001$	$0,987 \pm 0,004$	0,020	0,988
0,50–0,50	$0,007 \pm 8,666 \cdot 10^{-4}$	$0,998 \pm 0,004$	0,015	0,990
0,67–0,675	$0,003 \pm 7,279 \cdot 10^{-4}$	$1,057 \pm 0,005$	0,012	0,983
0,87–0,871	$0,003 \pm 7,644 \cdot 10^{-4}$	$1,026 \pm 0,007$	0,012	0,967
1,02–1,047	$-0,001 \pm 0,001$	$1,007 \pm 0,012$	0,016	0,914

Из полученных результатов следует, что значения τ_λ хорошо согласуются, а величина отличий примерно равна суммарной погрешности определения АОТ (у каждого прибора она оценивается как $0,01 \div 0,02$). Дополнительными причинами различий (кроме погрешности измерений) являются: а) отличие в методиках учета газового поглощения; б) неполное совпадение контуров пропускания светофильтров (см., например, 0,38/0,371 мкм и 1,02/1,047 мкм); в) разные режимы измерений и методик отбраковки ситуаций облачности.

3. Влияние полупрозрачной облачности

Вопрос учета искажающего влияния облачности, имеющей оптические толщ в диапазоне реальной изменчивости АОТ, является важным для реализации в алгоритмах обработки данных авто-

матизированных солнечных фотометров. Применение специальных алгоритмов фильтрации – «cloud screening» [7] – позволяет исключить ситуации плотной нижней облачности, но оказывается не эффективным для случаев однородной и тонкой перистой облачности [8]. Естественным следствием являются искажение статистических данных АОТ атмосферы и ошибки в интерпретации. В измерениях фотометра SP-4 используется другой – «аппаратурный» алгоритм фильтрации облачности (подробнее см. [2]), но конечный результат оказывается тем же: при автоматизированных измерениях практически невозможно идентифицировать и полностью исключить влияние однородной полупрозрачной облачности. Применением дополнительных процедур можно лишь частично улучшить алгоритмы cloud screening.

Для оценки искажений, связанных с «остаточным влиянием облачности», нами были использованы результаты непрерывных измерений АОТ атмосферы фотометром SP-4 (рис. 3).

Весь массив точек на рис. 3 соответствует значениям τ_λ и параметра Ангстрема α , которые были получены при стандартном режиме измерений и отбраковки облачных ситуаций. Указанный массив данных был подвергнут дополнительной фильтрации облачности, основанной на учете двух условий: 1) реальное изменение АОТ атмосферы происходит не скачкообразно, а монотонно в течение нескольких десятков минут (более быстрые ситуации изменений τ_λ соответствуют облачности); 2) замеры «через облака» приводят к примерно одинаковому увеличению оптической толщи на всех длинах волн. В результате такого отбора были выделены данные, соответствующие облачности (темные точки).

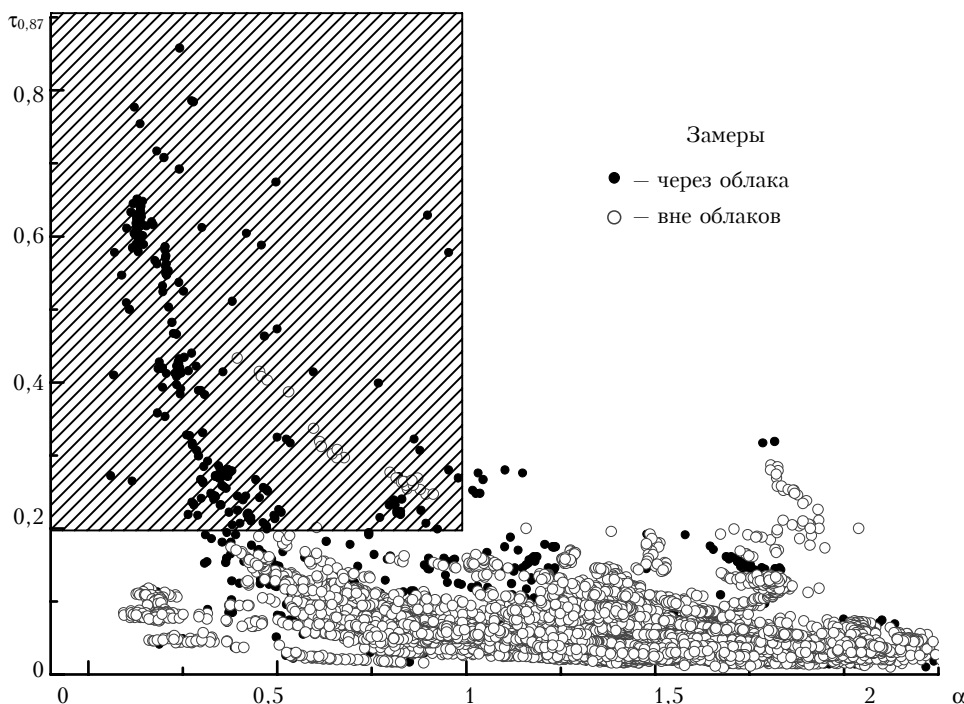


Рис. 3. Иллюстрация значений τ_λ и α до и после дополнительной «фильтрации облачности»

Анализ результатов показал, что большая часть «ложных» точек, приводящих к завышению реальных значений τ_λ , находится в совместной области значений $\{\tau_{0,87} > 0,2; \alpha < 1\}$. То есть указанный критерий может использоваться в качестве дополнительной процедуры фильтрации результатов автоматизированных фотометров СЕ 318 или SP-4. В конкретном примере ситуации облачности были выделены правильно в 92,6% случаев, ошибочно удалены данные – 0,2%, ошибочно оставлены – 7,2%.

4. АОТ и АОР аэрозоля в различных районах Сибири

Оценки сезонной изменчивости

Из-за недостаточной продолжительности наблюдений в других районах предварительный анализ внутригодовой изменчивости АОТ приведем только для Томска (хотя и здесь количественные характеристики пока можно рассматривать как оценочные). Обобщенное представление о сезонной изменчивости τ_λ и параметра α дают рис. 4, 5 и табл. 2.

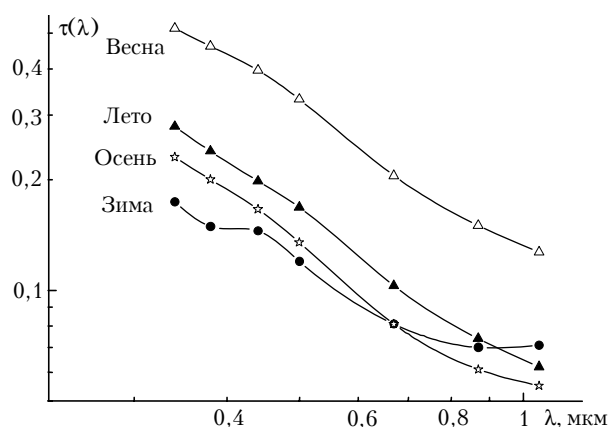


Рис. 4. Средние зависимости $\tau(\lambda)$ в разные сезоны (Томск)

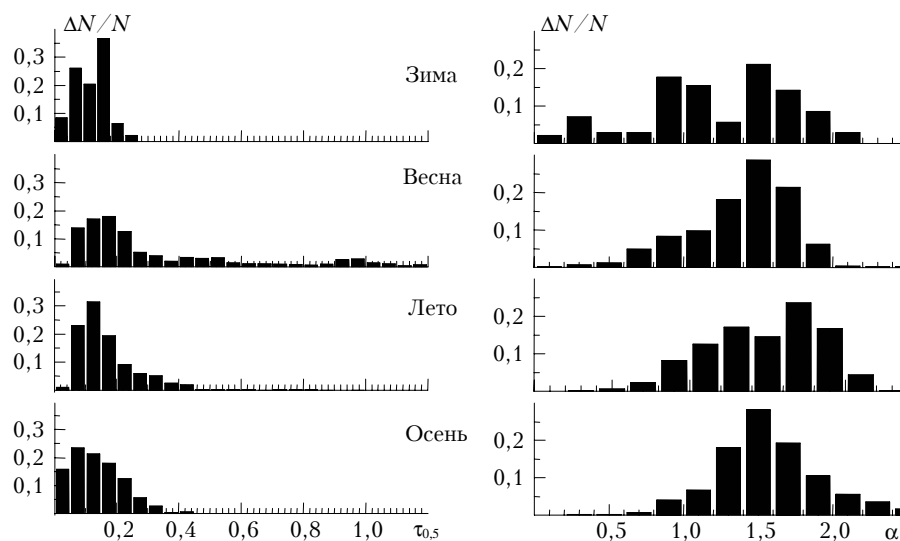


Рис. 5. Гистограммы повторяемости $\tau_{0,5}$ и параметра α (Томск)

Статистика АОТ для разных сезонов в г. Томске (октябрь 2002 г. – сентябрь 2004 г.)

Характеристика	Среднее	СКО	Min	Max
<i>Зима</i> (N = 142)				
$\tau(0,34 \text{ мкм})$	0,174	0,066	0,070	0,343
$\tau(0,38 \text{ мкм})$	0,149	0,062	0,051	0,308
$\tau(0,44 \text{ мкм})$	0,145	0,056	0,054	0,296
$\tau(0,50 \text{ мкм})$	0,120	0,050	0,037	0,258
$\tau(0,67 \text{ мкм})$	0,081	0,041	0,016	0,195
$\tau(0,87 \text{ мкм})$	0,070	0,040	0,014	0,178
$\tau(1,02 \text{ мкм})$	0,071	0,040	0,020	0,190
α	1,241	0,496	0,115	2,074
$W, \text{ г/см}^2$	0,296	0,075	0,161	0,462
<i>Весна</i> (N = 1541)				
$\tau(0,34 \text{ мкм})$	0,516	0,477	0,064	2,434
$\tau(0,38 \text{ мкм})$	0,461	0,449	0,029	2,286
$\tau(0,44 \text{ мкм})$	0,397	0,368	0,054	1,896
$\tau(0,50 \text{ мкм})$	0,331	0,308	0,037	1,587
$\tau(0,67 \text{ мкм})$	0,205	0,186	0,014	0,904
$\tau(0,87 \text{ мкм})$	0,150	0,122	0,013	0,547
$\tau(1,02 \text{ мкм})$	0,127	0,095	0,017	0,471
α	1,387	0,338	0,141	2,554
$W, \text{ г/см}^2$	1,032	0,671	0,059	2,987
<i>Лето</i> (N = 3269)				
$\tau(0,34 \text{ мкм})$	0,279	0,158	0,065	1,299
$\tau(0,38 \text{ мкм})$	0,239	0,14	0,046	1,208
$\tau(0,44 \text{ мкм})$	0,198	0,116	0,044	1,08
$\tau(0,50 \text{ мкм})$	0,168	0,097	0,034	0,958
$\tau(0,67 \text{ мкм})$	0,103	0,062	0,011	0,686
$\tau(0,87 \text{ мкм})$	0,074	0,044	0,008	0,527
$\tau(1,02 \text{ мкм})$	0,062	0,037	0,009	0,46
α	1,483	0,360	0,230	2,674
$W, \text{ г/см}^2$	1,956	0,588	0,630	4,022
<i>Осень</i> (N = 593)				
$\tau(0,34 \text{ мкм})$	0,230	0,131	0,055	0,749
$\tau(0,38 \text{ мкм})$	0,200	0,117	0,041	0,656
$\tau(0,44 \text{ мкм})$	0,166	0,094	0,043	0,529
$\tau(0,50 \text{ мкм})$	0,135	0,081	0,024	0,433
$\tau(0,67 \text{ мкм})$	0,081	0,052	0,006	0,251
$\tau(0,87 \text{ мкм})$	0,061	0,038	0,005	0,199
$\tau(1,02 \text{ мкм})$	0,055	0,032	0,010	0,188
α	1,576	0,387	0,365	3,455
$W, \text{ г/см}^2$	1,234	0,746	0,199	2,914

Из приведенных данных следует, что наиболее чистой по содержанию аэрозоля является атмосфера в осенне-зимний период, а весна отличается максимальными замутнением и изменчивостью τ_λ . Меньшая селективность спектрального хода АОТ и одновременно максимальная изменчивость α наблюдаются в зимний период, что является следствием относительно большего содержания грубодисперсного аэрозоля в сравнении с другими сезонами. Максимальными значениями α отличается осенний период. Наличие зимой двух максимумов в гистограммах τ_λ и α , по-видимому, можно объяснить двумя типами погоды, один из которых относится к инверсионным ситуациям, способствующим накоплению «местного» аэрозоля в нижнем слое атмосферы. Второй максимум параметра α в летний период, вероятно, связан с влиянием массовых лесных пожаров, которые приводят к обогащению воздуха мелкодисперсным аэрозолем и увеличению селективности спектрального хода $\tau(\lambda)$.

Исследование альбедо однократного рассеяния аэрозоля Λ , характеризующего его поглощательные свойства, является важнейшей задачей для уточнения радиационного форсинга аэрозоля. В последнее десятилетие, благодаря быстрому развитию методов решения обратных задач, стало возможным определение этой характеристики по угловым распределениям рассеянного солнечного излучения. Алгоритмы расчета Λ в системе AERONET хотя и доведены до рутинного использования, продолжают уточняться и развиваться. Поэтому для оценки вариации Λ в условиях Сибири воспользуемся данными только за один 2004 г. Из гистограмм повторяемости (рис. 6) следует, что АОР аэрозоля в районе Томска изменялось в диапазоне 0,5–1.

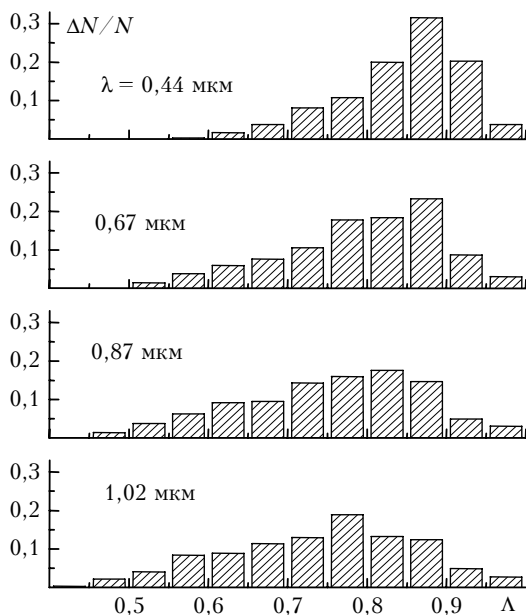


Рис. 6. Гистограммы повторяемости Λ (Томск, май – сентябрь 2004 г.)

Большее поглощение и меньшие Λ характерны для длинноволновой области спектра: средние зна-

чения Λ на длине волны 1,02 мкм – 0,74, а в области 0,44 мкм – 0,84 (рис. 7). Отметим также, что вариации Λ увеличиваются с длиной волны и величина их относительной изменчивости существенно меньше в сравнении с $\tau(\lambda)$. Например, коэффициенты вариаций Λ меняются от ~9% (0,44 мкм) до ~16% (1,02 мкм), а у АОТ атмосферы, как правило, составляют 40–60%.

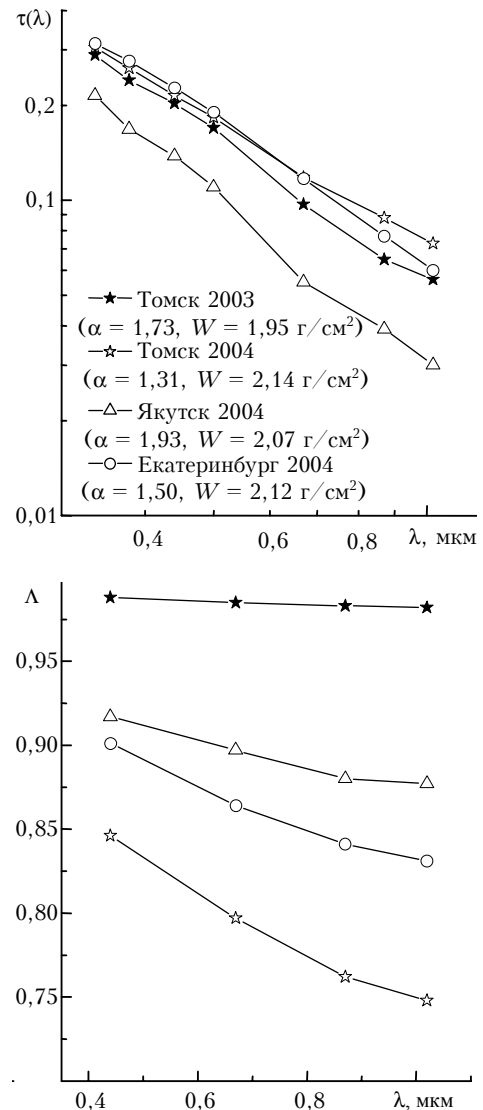


Рис. 7. Сравнение средних характеристик $\tau(\lambda)$ и Λ в трех районах Сибири (лето: Томск, Екатеринбург, Якутск)

Пространственные неоднородности

Представляет интерес оценить пространственную изменчивость аэрозольных характеристик и влажностерождения атмосферы на территории Сибири. Напомним, что измерения вблизи Якутска и Екатеринбурга, в отличие от измерений вблизи Томска, были начаты только летом 2004 г., поэтому для сравнительной оценки воспользуемся данными лишь для июня, наиболее полно представленного

в трех районах наблюдений (рис. 7). Даже поверхностный анализ показывает, что среднемесячные значения влагосодержания атмосферы в различных районах близки, а аэрозольные характеристики имеют заметные различия. Обратим внимание на следующие особенности:

1) минимальное замутнение атмосферы наблюдалось в районе Якутска, величина АОТ здесь меньше, чем в Екатеринбурге и Томске, в 1,5–2 раза; в видимой области спектра τ_λ в Томске чуть ниже, чем в Екатеринбурге, а в ИК-диапазоне — наоборот;

2) для Якутска характерна максимальная селективность спектрального хода АОТ (см. параметр α), свидетельствующая об относительно большем содержании в атмосфере мелкодисперсного аэрозоля;

3) для Якутска характерны также большие значения Λ , т.е. меньшее содержание в аэрозоле поглощающего вещества.

5. Дисперсный состав аэрозоля

Как уже отмечалось, использование алгоритмов обращения оптических данных [4–6] позволяет восстановить и проанализировать показатель преломления и характеристики дисперсного состава аэрозоля в столбе атмосферы для разных пунктов наблюдений. Рассмотрим оценки географической изменчивости объемного распределения частиц по размерам для лета 2004 г. (рис. 8).

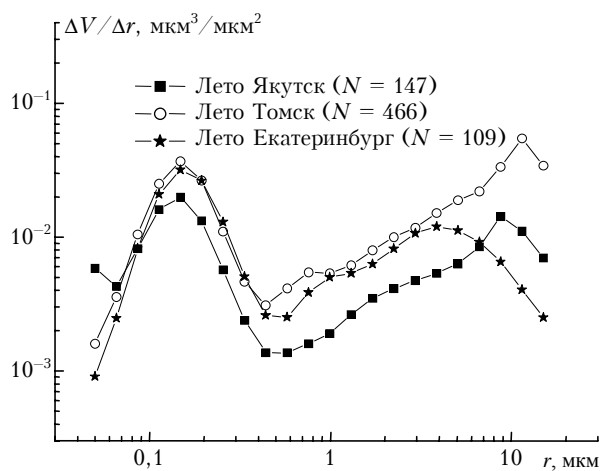


Рис. 8. Среднее объемное распределение частиц по размерам для летнего периода

Как видим, в Якутске содержание практически всех частиц заметно меньше, чем в районах Томска и Екатеринбурга. Результаты, полученные в Томске и Екатеринбурге для мелких частиц (до размеров

4–5 мкм по радиусу), практически одинаковы, а самых крупных частиц больше в районе Томска. Достоверные различия для этих географических пунктов, вероятнее всего, обусловлены разным временем наступления цветения и выхода пыльцы трав и деревьев. Следует отметить, что в микроструктуре частиц аэрозоля, полученных при обращении оптических данных, наиболее определенно проявляются две фракции — мелкодисперсных (*Fine*) и крупнодисперсных (*Coarse*) частиц. В то же время по кривым распределений можно судить о наличии завуалированной фракции «среднедисперсных» частиц в диапазоне размеров 0,6–1 мкм. Наличие этой фракции заметно и на средних кривых распределения для летнего периода (рис. 8).

Средние значения микрофизических характеристик двух основных фракций аэрозоля обобщены в табл. 3. Из приведенных данных следует, что Якутск отличается минимальными величинами не только концентрации частиц, но и других характеристик — модальных и эффективных радиусов, мнимой части показателя преломления. В атмосфере Томска, в сравнении с атмосферой Екатеринбурга, несколько больше содержание аэрозоля и размер частиц (см. рис. 7, 8). Однако этот факт не указывает на такое же соотношение, если рассматривать промышленное загрязнение. Напомним, что измерения в Томске проводятся в пригородной восточной зоне, а в районе Екатеринбурга — в 65 км западнее города, т.е. практически в фоновом районе для данного региона. С точки зрения преобладающего западного переноса воздушных масс, расположение пункта наблюдений на Урале оказалось более благоприятным. Для Томска, в рамках отдельной работы, требуется более тщательно проанализировать, насколько сказывается влияние города на получаемые аэрозольные характеристики.

Сезонную изменчивость дисперсного состава аэрозоля оценим для Томска, где получено относительно большее число данных (рис. 9). Так же как для АОТ атмосферы, ожидаемым результатом является весенний максимум содержания аэрозоля, что типично для большинства районов умеренных широт. В то же время, по данным сети AERONET и других работ (см., например, [8–11]), максимум аэрозольного замутнения наблюдается не только весной, но и летом, а в осенне-зимний период — минимум. Для данных в районе Томска межсезонное различие (кроме весны) оказалось не столь явным. О слабой выраженности сезонного хода АОТ атмосферы в чистых районах Сибири и даже некоторого превышения замутнения зимой в сравнении с летом отмечалось и для ранее полученных данных [12, 13].

Таблица 3

Средние микрофизические характеристики аэрозоля (лето, $\lambda = 0,87$ мкм)

Район	Суммарный объем V_C , мкм ³ /мкм ²	Эффективный радиус $r_{эф}$, мкм	Модальные радиусы		Показатель преломления	
			r_m^c , мкм	r_m^f , мкм	n	χ
Томск	0,091	0,34	3,77	0,16	1,45	0,017
Якутск	0,038	0,22	3,55	0,14	1,45	0,013
Екатеринбург	0,055	0,27	3,33	0,16	1,48	0,015

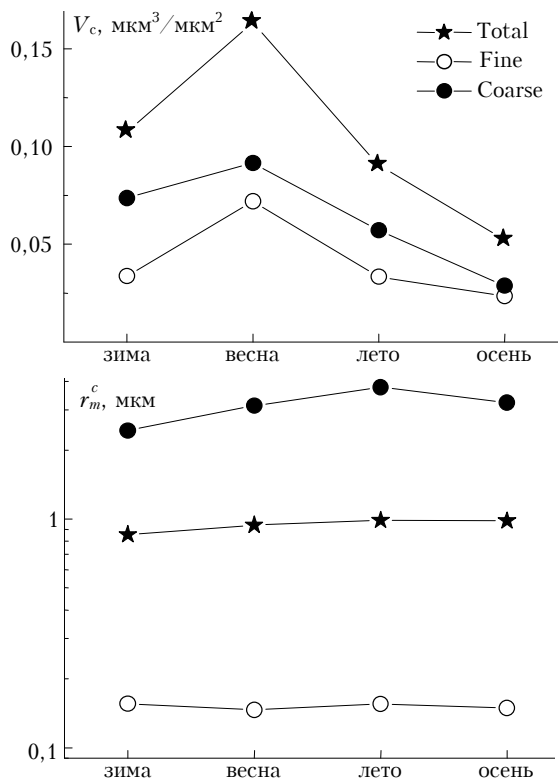


Рис. 9. Сезонная изменчивость объемного содержания и модальных радиусов частиц (Томск)

Что касается модальных радиусов двух фракций аэрозоля, то основной особенностью внутригодовой изменчивости является наличие летнего максимума размера грубодисперсных частиц: зимой $r_m^c = 2,4$ мкм, а к лету увеличивается до 3,8 мкм. Для мелких частиц значимой сезонной изменчивости в полученных результатах не просматривается.

Еще раз подчеркнем, что представленные данные о сезонном ходе аэрозольных характеристик и особенностях их географического распределения из-за малого периода наблюдений являются предварительными. По мере накопления длинных рядов наблюдений и привлечения данных в «новых» районах (где измерения начались позднее) выявленные закономерности изменчивости оптических и микрофизических характеристик позволят предложить эмпирические модели и оценить роль глобальных, региональных и локальных процессов формирования аэрозоля. Однако проведенный предварительный просмотр данных уже на этом этапе позволяет более рационально планировать дальнейшее развитие работ по программе AEROSIBNET.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 05-05-64410, РФФИ-Урал 04-01-96096 и DOE's ARM program (grant 5012).

S.M. Sakerin, D.M. Kabanov, M.V. Panchenko, V.V. Polkin, B.N. Holben, A.V. Smirnov, S.A. Beresnev, S.Yu. Gorda, G.I. Kornienko, S.V. Nikolashkin, V.A. Poddubnyi, M.A. Tashchilin. Results of atmospheric aerosol monitoring in the Asian part of Russia in 2004 in the framework of AEROSIBNET program.

The organization problems of atmospheric aerosol net observations with the use of automated solar photometers in the Asian part of Russia in the framework of AERONET program are described. Preliminary results of measurements of aerosol optical thickness, single-scattering albedo, and aerosol microstructure, obtained near Tomsk, Yakutsk, and Ekaterinburg, are under discussion.

1. *Кабанов Д.М., Сакерин С.М.* Вариации аэрозольной оптической толщины атмосферы в районе г. Томска для ряда сезонов 1992–1995 гг. // *Оптика атмосф. и океана*. 1996. Т. 9. № 6. С. 727–734.
2. *Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Турчинович С.А.* Солнечный фотометр для научного мониторинга (аппаратура, методики, алгоритмы) // *Оптика атмосф. и океана*. 2001. Т. 14. № 12. С. 1162–1169.
3. *Климат Томска* / Под ред. С.Д. Кашинского, Л.И. Трифионовой, Ц.А. Швер, Л.: Гидрометеониздат, 1982. 176 с.
4. *Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakadjima T., Lavenu F., Jankowiak I., Smirnov A.* AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization // *Remote Sens. Environ.* 1998. V. 66. N 1. P. 1–16.
5. *Dubovik O., Smirnov A., Holben B.N., King M.D., Kaufman Y.J., Eck T.F., Slutsker I.* Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from Aerosol Robotic Network (AERONET) Sun and sky radiance measurements // *J. Geophys. Res. D*. 2000. V. 105. N 4. P. 9791–9806.
6. *Dubovik O., King M.D.* A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties retrieved from Sun and sky radiance measurements // *J. Geophys. Res. D*. 2000. V. 105. N 16. P. 20,673–20,696.
7. *Smirnov A., Holben B.N., Eck T.F., Dubovik O., Slutsker I.* Cloud screening and quality control algorithms for the AERONET data base // *Remote Sens. Environ.* 2000. V. 73. P. 337–349.
8. *Улюмджиева Н.Н., Чубарова Н.Е., Смирнов А.Н.* Характеристики атмосферного аэрозоля в Москве по данным солнечного фотометра CIMEL // *Метеорол. и гидрол.* 2005. № 1. С. 48–57.
9. *Holben B.N., Tanre D., Smirnov A., Eck T.F., Slutsker I., Abuhassan N., Newcomb W.W., Shafer J.S., Chatent B., Lavenu F., Kaufman Y.J., Vande Castle J., Setzer A., Markham B., Clark P., Frouin R., Halthore R., Karneli A., O'Neill N.T., Pietras C., Pinker R.T., Voss K., and Zibordi G.* An emerging ground-based aerosol climatology Aerosol Optical Depth from AERONET // *J. Geophys. Res.* 2001. V. 106. N 11. P. 12 067–12 097.
10. *Smirnov A., Royer A., O'Neill N.T., Tarussov A.* A study of the link between synoptic air mass type and atmospheric optical parameters // *J. Geophys. Res. D*. 1994. V. 99. N 10. P. 20,967–20,982.
11. *Абакумова Г.М., Ярхо Е.В.* Изменения аэрозольной оптической толщины атмосферы в Москве за последние 37 лет // *Метеорол. и гидрол.* 1992. № 11. С. 107–113.
12. *Ярхо Е.В.* Особенности внутригодовой изменчивости аэрозольной оптической толщины атмосферы в различных климатических регионах // *Оптика атмосф. и океана*. 1995. Т. 8. № 7. С. 1063–1072.
13. *Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Шалин Ю.А., Еремина Т.А., Турчинович С.А.* Оценки сезонной изменчивости прозрачности атмосферы в двух районах Сибири (Томск, Иркутск) // *Тезисы докл. 8-й Рабочей группы «Аэрозоли Сибири»*. Томск: ИОА СО РАН, 2001. С. 4.