

Оценка влияния города на аэрозольное замутнение атмосферы по данным двухточечных измерений «фон—промышленный город»

В.А. Поддубный¹, А.П. Лужецкая¹, Ю.И. Маркелов¹, Д.М. Кабанов^{2*}

¹Институт промышленной экологии УрО РАН
620219, г. Екатеринбург, ГСП-594, ул. Софьи Ковалевской, 20
²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

Поступила в редакцию 13.10.2011 г.

Представлен анализ результатов парных измерений аэрозольной оптической толщи (АОТ) и влагосодержания атмосферы на Среднем Урале, выполненных в летне-осенний период в городском (г. Екатеринбург) и фоновом (удаление ~65 км) пунктах наблюдения. Помимо АОТ рассматриваются следующие характеристики атмосферного аэрозоля: параметры α и β формулы Ангстрема, мелко- и грубодисперсная компонента АОТ. Установлено, что величина АОТ практически не подвержена воздействию крупнодисперсного городского аэрозоля. Обнаружено статистически значимое различие значений АОТ на всех длинах волн в диапазоне от 0,34 до 1,02 мкм, для параметра селективности α в формуле Ангстрема, для тонкодисперсной компоненты аэрозольной оптической толщи, измеренных в двух районах. Это свидетельствует о наличии дополнительного вклада приземного аэрозоля города в величину аэрозольной оптической толщи.

Ключевые слова: аэрозольная оптическая толщина, влагосодержание, мониторинг атмосферы, аэрозоль, AERONET; aerosol optical depth, water vapor content, monitoring of the atmosphere, aerosol, AERONET.

Введение

Большой объем, доступность, надежность и глобальность охвата информации об аэрозольно-оптических параметрах атмосферы, получаемой как наземными станциями мониторинга, так и с помощью приборов, размещенных на спутниковых платформах, приводят к тому, что в последнее время активно разрабатываются идеи использования этих данных для решения научных и практических задач охраны окружающей среды. Так, например, аэрозольная оптическая толщина из предмета академического исследования становится средством и инструментом решения экологических задач [1].

В целом ряде работ [2–5] исследуется возможность использования АОТ, измеренной со спутников и наземными станциями мониторинга, для экспресс-оценки аэрозольного загрязнения воздуха мегаполисов, крупных городов и больших регионов. В [2] продемонстрирована сильная корреляционная связь между АОТ и концентрацией аэрозоля в приземном слое воздуха, а в [3] показано существование статистической зависимости между изменением АОТ в крупном мегаполисе с периодической

деятельностью человека за недельный цикл. В работах [4, 5] анализируется возможность улучшения системы мониторинга загрязнения атмосферы в Европе с использованием данных измерений АОТ.

С другой стороны, многие станции наземной сети аэрозольного мониторинга атмосферы AERONET [6] размещаются на территории крупных городов (http://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/site_info). В связи с этим важным представляется вопрос о том, насколько данные таких станций характеризуют региональные аэрозольно-оптические характеристики атмосферы, а не локальные особенности загрязнения атмосферного воздуха конкретного города.

В общем виде данную проблему можно сформулировать следующим образом: насколько сильно локальные загрязнения приземного слоя воздуха в крупном городе влияют на аэрозольную оптическую толщину и другие характеристики аэрозоля в столбе атмосферного воздуха? Каков вклад приземного аэрозоля в значения АОТ и другие микрофизические параметры аэрозоля, измеряемые на наземных станциях сети мониторинга AERONET? Ответить на этот вопрос можно с помощью проведения измерений на двух станциях мониторинга, работающих одновременно в одинаковых географических и природных условиях, но расположенных на фоновой территории и на территории крупного города.

Следует отметить, что постановка вопроса о влиянии антропогенной деятельности на характеристики

* Василий Алексеевич Поддубный (Basil@ecko.uran.ru); Анна Павловна Лужецкая; Юрий Иванович Маркелов (markelov@ecko.uran.ru); Дмитрий Михайлович Кабанов (dkab@iao.ru).

прозрачности атмосферы не является новой. В [7] по результатам экспериментальных исследований 1986, 1987, 1989, 1992 гг. фиксируются как положительные, так и отрицательные значения разности АОТ (для эффективной длины волны 0,55 мкм), измеренных в Москве и Звенигороде. Для определенных синоптических условий делается вывод об отсутствии различий радиационных характеристик атмосферы в этих городах. В работе [8] обнаружена значительная разность между величинами АОТ для эффективной длины волны 0,55 мкм в целом ряде промышленных крупных центров и их пригородов. Согласно этим исследованиям АОТ в Москве превышает среднее широтное значение зимой в 2–3 раза, а летом в 1,5–2,5 раза.

Среднегодовые значения АОТ за 1972–1976 гг. на 27% превышают соответствующие данные станции мониторинга, удаленной от Москвы на 30 км, и на 58% данные станции, удаленной на 100 км. Кроме того, для ряда станций, расположенных в городах, обнаружены значимые тренды роста аэрозольного замутнения атмосферы, которые связываются с возрастающим влиянием промышленности в этот период времени. В работе [9] указывается на существование значительных (20–50%) различий в АОТ города и пригорода и предложено использовать АОТ, извлекаемую из результатов актинометрических наблюдений на 153 станциях, как характеристику антропогенного загрязнения воздуха над промышленными центрами.

Наиболее полно анализ и использование результатов актинометрических наблюдений представлены в [10, 11], где в противоположность [8] по результатам обобщения многолетних наблюдений за 1976–2003 гг. для станций мониторинга, расположенных в городах, выявлены тренды существенного снижения АОТ, что приводит в некоторых случаях к уменьшению до нуля различий аэрозольной мутности атмосферы в городе и на фоновой территории.

Спектральные исследования последних лет [12], выполненные с помощью солнечных фотометров, также не позволили надежно выделить вклад города в аэрозольную оптическую толщину для станций мониторинга, расположенных в Москве и Звенигороде. В то же время в Западной Сибири для г. Томска с гораздо меньшей, чем в Москве, антропогенной нагрузкой (по параметрам — численность населения, промышленность, транспорт) в ходе двухточечных экспериментов «город–фон» [13] в летний период различий между городом и фоновым районом также не обнаружено, но в зимний период замутненность атмосферы города оказалась выше фоновой.

Из этого краткого обзора видно, что экспериментальные данные разных лет и различных авторов не позволяют сформулировать определенный ответ на вопрос — вносит ли приземный аэрозоль заметный или существенный вклад в аэрозольную оптическую толщину. Не ясно, например, будут ли спектральные фотометрические измерения на территории г. Екатеринбурга искажены влиянием города, а если будут, то насколько, и от каких метеорологических факторов зависит степень этого искажения.

В данной статье представлена попытка ответить на эти вопросы путем проведения специальных двухточечных экспериментов «город–фон» в Екатеринбурге и в Коуровской астрономической обсерватории.

Описание двухточечного эксперимента «город–фон»

Основной «фоновый» пункт наблюдения находится в лесном массиве вблизи д. Слобода примерно в 65 км северо-западнее г. Екатеринбурга на площадке Коуровской астрономической обсерватории УрФУ. В измерениях используется солнечный фотометр Cimel CE-318, работающий в рамках программы глобальной сети мониторинга AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>). Высота установки фотометра над уровнем земли 5 м. При таком расположении прибора, с учетом преобладающих ветров западных направлений, можно полагать, что пункт наблюдения представляет фоновый район.

Второй (городской) пункт наблюдения расположен в г. Екатеринбурге на территории Института промышленной экологии УрО РАН. Измерения спектральной прозрачности производятся с помощью многоволнового солнечного фотометра типа SP-9, разработанного Институтом оптики атмосферы СО РАН, г. Томск. Солнечный фотометр установлен на высоте 12 м над уровнем земли.

Общими для обоих приборов являются 8 спектральных каналов: 0,34; 0,38; 0,44; 0,50; 0,675; 0,87; 0,94; 1,02 мкм (канал 0,94 мкм используется для определения влагосодержания атмосферы). Измерения аэрозольных оптических характеристик проводились в два этапа в период июль — октябрь 2010 г.

Первый этап отражает результаты интеркалибровочных измерений, когда для оценки взаимной сопоставимости рядов наблюдений, получаемых различными приборами, проводились сравнения результатов измерений, выполненных фотометрами SP-9 и CE-318. Оба солнечных фотометра в этот период располагались в одной точке — в фоновом пункте наблюдения. Первый этап измерений проводился в период с 22.07.2010 по 12.08.2010 г. Общее количество измерений составило 9147, совместных часовых измерений 82.

На втором этапе измерения выполнялись одновременно в различных точках мониторинга: один прибор использовался для измерений на фоновой площадке, другой — в условиях города. Измерения проводились в два периода: 07.07.2010–21.07.2010, 16.08.2010–25.10.2010, общее количество измерений 19762, совместных часовых замеров 194.

Все результаты 2010 г. были получены в летнее и осеннее время.

При сравнении результатов измерений двух приборов использовались оптические аэрозольные характеристики атмосферы, относящиеся к различным промежуткам времени: 1 мин, что примерно соответствует интервалу выполнения разовых замеров прибором SP-9; 15 мин — интервалу разовых

измерений прибора CE-318 (при этом данные с прибора SP-9 усредняются); 1 ч и 1 день – усредняются данные измерений обоих приборов. В дальнейшем, если не оговорено иное, результаты приводятся для часового периода усреднения, как наиболее представительного. Следуя работе [13], для анализа использовались следующие параметры:

- 1) спектральные значения АОТ и влагосодержание атмосферы W , г/см²;
- 2) параметры α и β формулы Ангреста;
- 3) грубодисперсная τ^c и мелкодисперсная $\tau_{0,5}^f$ (для длины волн 0,5 мкм) компоненты АОТ.

В качестве параметров, характеризующих степень влияния аэрозольного загрязнения приземного слоя воздуха на замутнение атмосферы, следуя работе [9], использованы величины абсолютной и относительной разницы АОТ:

$$\Delta_\lambda = \tau_\lambda^a(\text{«город»}) - \tau_\lambda^a(\text{«фон»}), \quad \delta_\lambda = \Delta_\lambda / \tau_\lambda^a(\text{«фон»}).$$

В анализе использовались данные второго уровня (с фильтрацией от облачности и учетом двух калибровок) для прибора CE-318 (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>), а результаты измерений солнечного фотометра SP-9 фильтровались от облачности вручную на основе экспертной оценки состояния атмосферы.

Параметры α и β , грубодисперсная компонента τ^c и мелкодисперсная компонента АОТ $\tau_{0,5}^f$ определялись по методикам, представленным в работах [14, 15].

Интеркалибровка

На этом этапе было проведено сравнение значений τ_λ^a , полученных с помощью солнечного фотометра SP-9, с данными фотометра CE-318. На рис. 1, а представлен пример результатов совместных разовых измерений τ_λ^a для длины волн 0,5 мкм, выполненных приборами CE-318 и SP-9, расположенными в одном пункте мониторинга, за 24 июля 2010 г.

Рис. 1 демонстрирует высокую согласованность временного хода данных, полученных с помощью разных приборов, а также практически одинаковые для разных приборов значения самой АОТ. Статистический анализ полученных результатов показал наличие очень сильной корреляционной связи между сравниваемыми аэрозольными оптическими характеристиками двух приборов. Коэффициенты корреляции в диапазоне длин волн 0,34–0,87 мкм не опускаются ниже 0,99.

Результаты сравнения АОТ, измеренной разными приборами за весь период интеркалибровки для длин волн 0,34; 0,50; 1,02 мкм, и влагосодержания W , иллюстрируются на рис. 2.

Количественный анализ данных показал, что измерения τ_λ^a , полученные двумя разными фотометрами для длин волн 0,34; 0,38; 0,44; 0,50; 0,675; 0,87 мкм, статистически не различимы, поскольку величины уровней значимости, рассчитанные по непараметрическому U -критерию Манна–Уитни, больше 0,05.

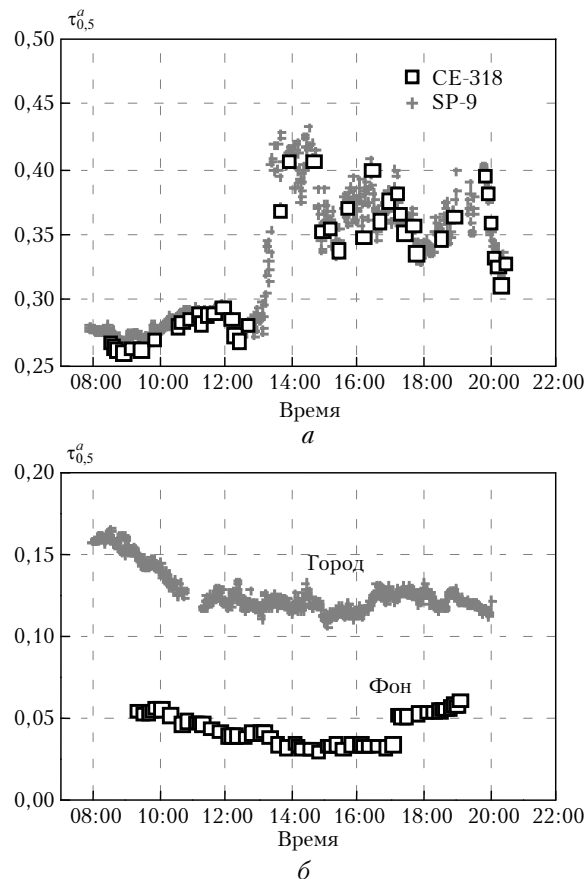


Рис. 1. Характерный вид результатов разовых измерений $\tau_{0,5}^a$: за 24 июля 2010 г., этап интеркалибровки (а); за 3 сентября 2010 г., этап «город–фон» (б)

Для АОТ на длине волн 1,02 мкм и влагосодержания отличие результатов измерений мало, но оказалось статистически различимо. Каковы бы ни были причины систематического различия данных (технические или методические), для $\tau_{1,02}^a$ и W были определены поправки, которые в дальнейшем учитывались при сравнении результатов измерений в двух районах. Поправка для $\tau_{1,02}^a$ равна 0,012, а для влагосодержания – 0,125 г/см².

Статистический анализ показал высокую степень согласованности средних значений АОТ (использованы только те данные, которые получены при условии, что измерение одного прибора сопровождается соответствующим измерением другого), полученных с помощью разных солнечных фотометров, но более детальное сравнение результатов измерений АОТ (рис. 3, а) фиксирует существование некоторых расхождений для медиан, первого и третьего квартилей выборок результатов измерений на каждой длине волн.

Поскольку на основе предшествующего статистического анализа была показана статистическая неразличимость результатов измерений разных фотометров, то различия в значениях медиан (рис. 3, а) можно рассматривать как меру неточности определения АОТ при сравнении результатов замеров двух приборов для каждой из длин волн. Абсолютные значения этих погрешностей приведены в табл. 1.

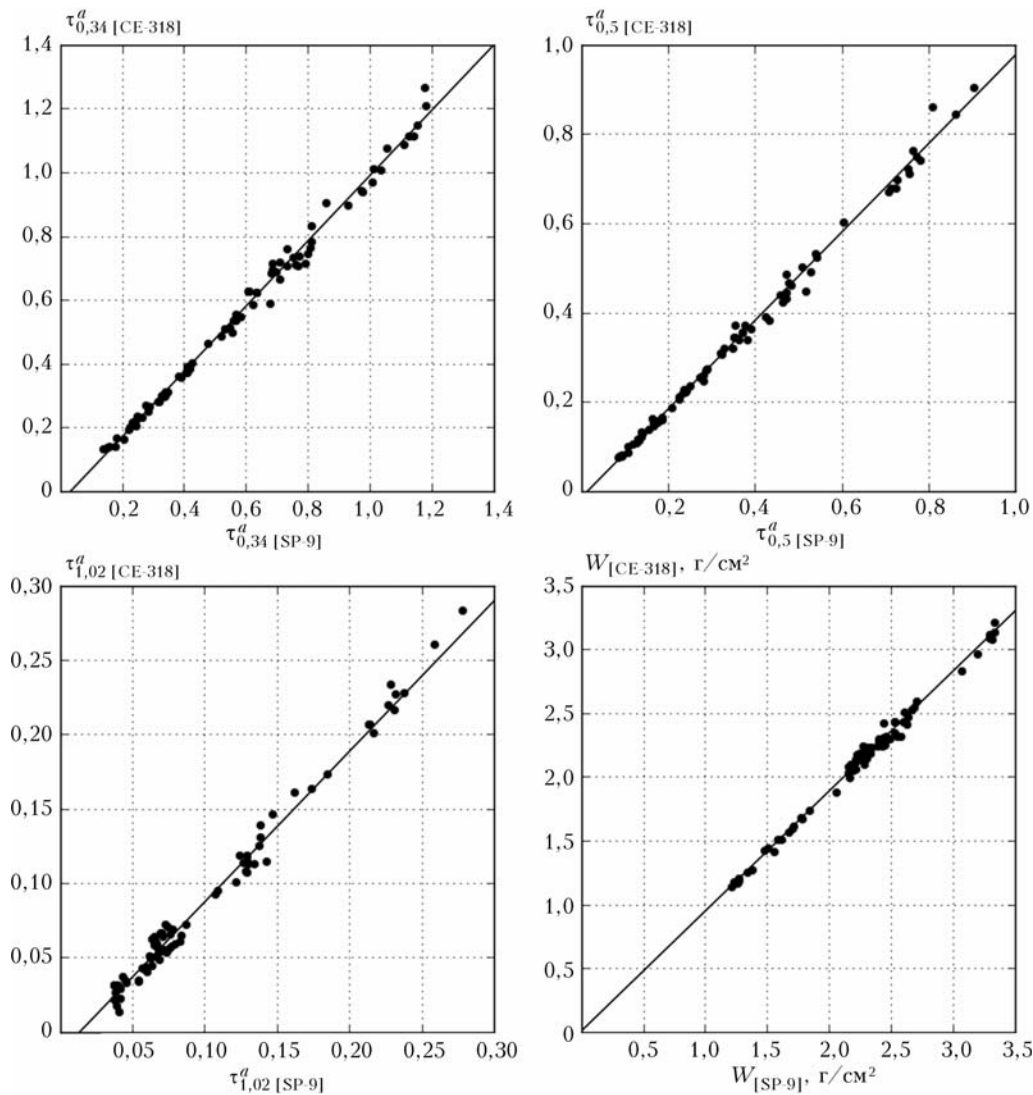


Рис. 2. Диаграммы рассеивания $\tau_{0,34}^a$, $\tau_{0,5}^a$, $\tau_{1,02}^a$, W ($\text{г}/\text{см}^2$) по результатам интеркалибровочных измерений в фоновом районе

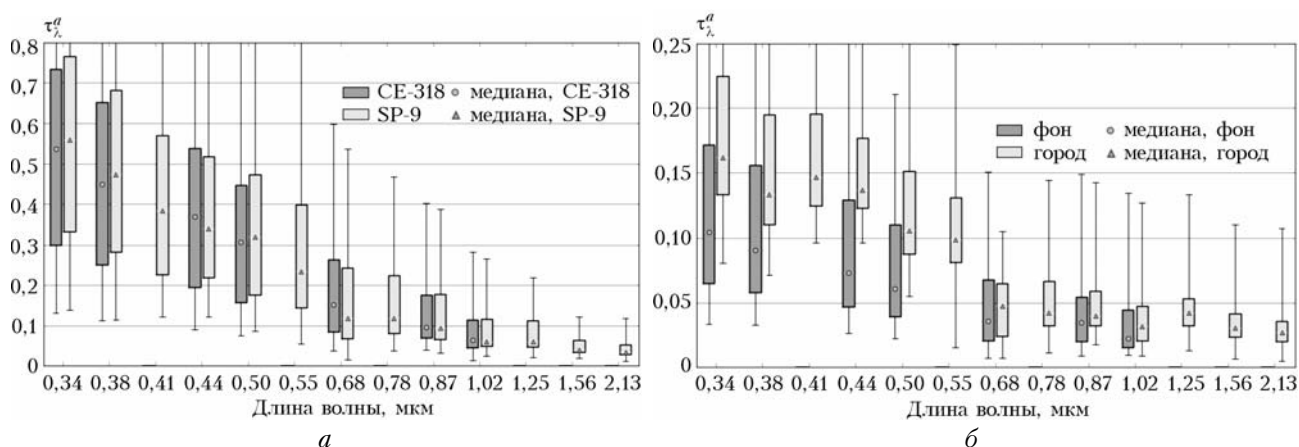


Рис. 3. Сравнение медиан и других статистических характеристик результатов измерений АОТ на каждой длине волны: интеркалибровочные измерения (а), измерения «город–фон» (б)

Таблица 1

Абсолютные значения различий медиан результатов измерений АОТ двух приборов на этапе интеркалибровки

Длины волн, мкм	0,34	0,38	0,44	0,5	0,675	0,87	1,02
Абсолютная разница	0,032	0,022	-0,022	0,015	-0,027	-0,002	-0,002

Видно, что для длин волн 0,34, 0,38 и 0,5 мкм прибор SP-9 незначительно завышает, а для остальных длин волн занижает значения АОТ по сравнению с солнечным фотометром CE-318.

Значения основных статистических характеристик для компонент АОТ тонкодисперсного и грубодисперсного аэрозоля и параметров формулы Ангстрема по результатам интеркалибровочного этапа измерений приведены в табл. 2.

Главные отличия от аналогичных диаграмм, построенных по результатам измерений в одном пункте мониторинга (рис. 2), — это гораздо большая степень разброса множества точек вокруг прямой линейной регрессии и существование отмеченного выше сдвига — статистического превышения значений АОТ, полученных в условиях города, над значениями АОТ, полученными в это же время на фоновом пункте мониторинга.

Таблица 2

Статистические характеристики параметров α , β , грубодисперсной τ^c и мелкодисперсной $\tau_{0,5}^f$ компоненты АОТ для разных приборов на этапе интеркалибровки

Параметр	CE-318				SP-9			
	α	β	τ^c	$\tau_{0,5}^f$	α	β	τ^c	$\tau_{0,5}^f$
Минимум	1,06	0,029	0,024	0,050	1,269	0,023	0,012	0,060
1-й квартиль	1,45	0,053	0,029	0,129	1,580	0,052	0,029	0,146
Медиана	1,64	0,072	0,033	0,258	1,681	0,074	0,035	0,272
Среднее	1,66	0,107	0,041	0,298	1,725	0,109	0,041	0,316
3-й квартиль	1,80	0,137	0,047	0,400	1,893	0,147	0,054	0,415
Максимум	2,20	0,338	0,089	0,815	2,156	0,332	0,118	0,821

Следует отметить, что по результатам статистических тестов для этих величин также не было обнаружено статистически значимого различия между результатами измерений разными приборами.

Измерения «город–фон»

В качестве характерного примера результатов измерений для этапа, когда приборы размещались в разных пунктах мониторинга, на рис. 1, б приведен дневной ход разовых значений $\tau_{0,5}^a$ за 3 сентября 2010 г. Сопоставление рис. 1, а и 1, б наглядно демонстрирует существование сдвига — аэрозольная оптическая толщина атмосферы в крупном городе заметно выше, чем на фоновой территории.

Полученные среднедневные значения аэрозольной оптической толщи, измеренной на территории города, почти всегда выше соответствующих значений на фоновой территории. Таким образом, аэрозольное загрязнение приземного слоя атмосферного воздуха, характерное для большого города, приводит к заметным искажениям значений аэрозольной оптической толщи. Следует обратить внимание на то, что такое влияние загрязнения городского приземного слоя воздуха на АОТ зафиксировано в летне-осенний период, тогда как в [13] такое влияние было обнаружено только в зимних условиях.

Характерный вид диаграмм рассеяния среднесуточных АОТ для длин волн 0,34; 0,5; 1,02 мкм, а также для общего влагосодержания приведен на рис. 4.

Следует также отметить, что во время измерений «город–фон» замутнение атмосферы было существенно ниже, чем во время этапа интеркалибровочных измерений на фоновом пункте мониторинга (прекратились лесные пожары).

Как и следовало ожидать, из-за географической близости станций мониторинга имеется сильная статистическая связь между результатами измерений АОТ в г. Екатеринбурге и в Коуровской обсерватории — коэффициент корреляции для разных длин волн изменяется от 0,73 до 0,96.

На рис. 3, б представлено сравнение основных статистических характеристик выборок среднесуточных значений АОТ для каждой длины волны (спектральная зависимость АОТ), полученных одновременно в городском и фоновом пунктах мониторинга.

Сопоставление спектральных ходов АОТ для двух этапов эксперимента (см. рис. 3) показывает их принципиальное различие. Результаты сравнения значений АОТ в городе с соответствующими значениями АОТ в фоновом регионе для каждой длины волны обобщены в табл. 3.

Следует отметить, что для всех длин волн разница между АОТ, измеренной в городе, и АОТ, измеренной в фоновом районе, всегда положительна. Кроме того, зафиксированные значения возмущений, вносимых городом, на всех длинах волн больше разницы значений, измеренных двумя разными приборами во время интеркалибровки, приведенных в табл. 1. Это говорит о том, что обнаруженный эффект физически значим.

Таблица 3

Абсолютные и относительные различия медианных значений АОТ «город–фон»

Различия АОТ «город–фон»	Длина волны, мкм						
	0,34	0,38	0,44	0,5	0,675	0,87	1,02
Δ_λ	0,057	0,043	0,064	0,045	0,011	0,006	0,009
$\delta_\lambda, \%$	55	47	87	73	32	17	41

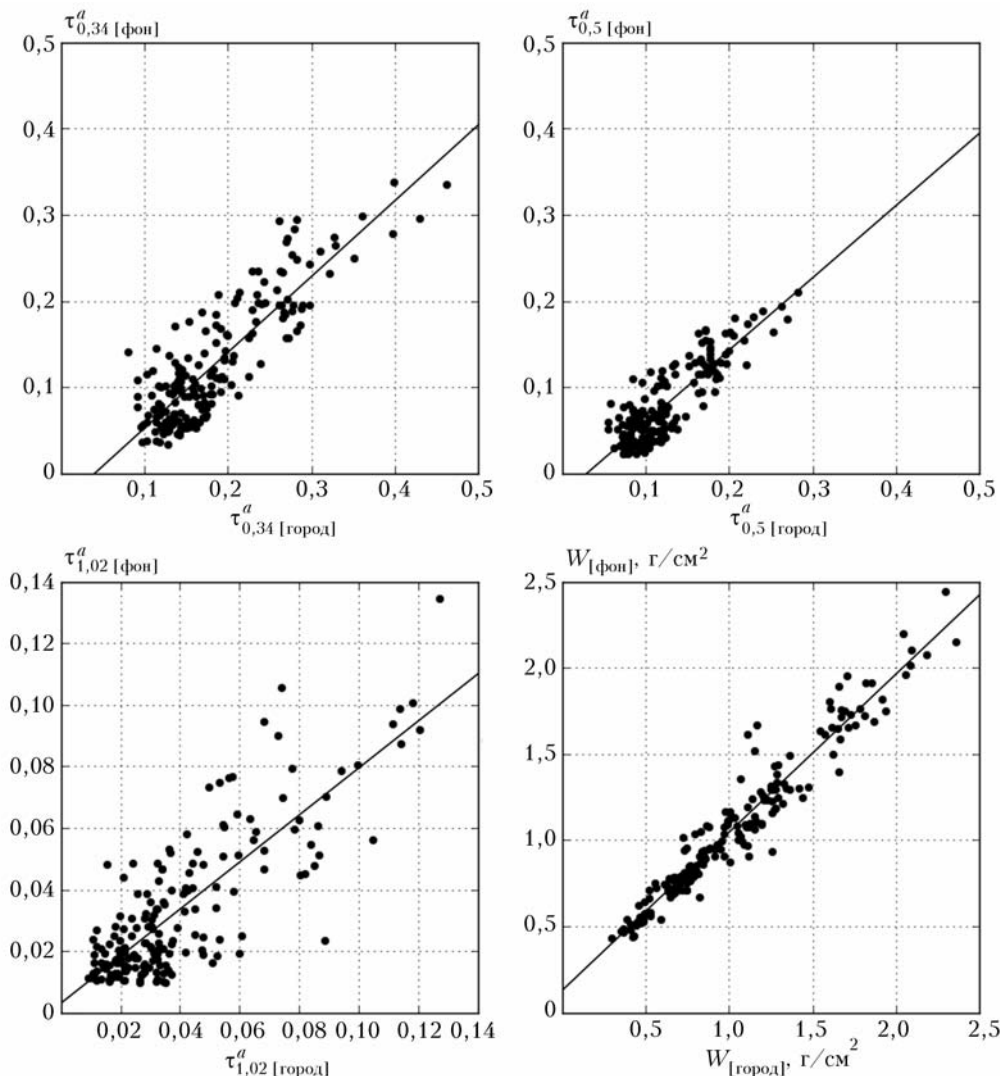


Рис. 4. Диаграммы рассеивания $\tau_{0,34}^a$, $\tau_{0,5}^a$, $\tau_{1,02}^a$, W , г/см², по результатам измерений в эксперименте «город–фон» летом 2010 г.

Как видно из табл. 3, диапазон относительных изменений τ_λ^a в городском и фоновом районах составляет от 17 до 87% в разных спектральных диапазонах. Значения абсолютных различий более существенны в области коротких длин волн.

Анализ всех среднечасовых значений АОТ, измеренных одновременно в фоновых и городских условиях, показал, что обнаруженные различия между рядами этих измерений статистически значимы (уровень значимости по непараметрическому критерию Манна–Уитни меньше 0,05 для каждой длины волны). Это означает, что в условиях проведения эксперимента аэрозольное загрязнение приземного слоя атмосферы на территории города привело к существенному искажению значений АОТ по сравнению с фоновой территорией.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что АОТ может быть использована как характеристика возмущений в аэрозольном замутнении атмосферы, обусловленных загрязнением атмосферы крупного города, что соответствует вы-

водам работы [9]. При этом АОТ для наиболее коротких длин волн (в рассмотренном диапазоне) более чувствительна к загрязнению приземного слоя атмосферы города.

Также были установлены существенные различия в параметре α формулы Ангретма. В условиях города он больше в среднем на 30% (табл. 4). Параметр β имеет одинаковые значения в двух пунктах измерения. Близость значения параметра Ангретма в городе к значению 2 говорит о присутствии в атмосфере мелкодисперсного аэрозоля, что было проверено прямым вычислением грубодисперсной τ^c и тонкодисперсной τ_λ^f компонент АОТ.

Для солнечного фотометра SP-9 грубодисперсная компонента τ^c определялась по минимальным значениям АОТ в области спектра 1,2–2,13 мкм. Для солнечного фотометра SE-318 отсутствуют измерения в этом диапазоне, поэтому величина τ^c определялась в соответствии с эмпирической зависимостью от параметра β , найденной по методике [14]. В результате расчетов обнаружено значительное пре-

вышение мелкодисперсной компоненты $\tau_{0,5}^f$ в г. Екатеринбурге над фоновым значением (табл. 4), а также небольшое превышение грубодисперсной компоненты АОТ.

в г. Екатеринбурге и на фоновой станции мониторинга, что свидетельствует о наличии дополнительного вклада приземного аэрозоля города в величину аэрозольной оптической толщи.

Таблица 4

Средние значения аэрозольных оптических характеристик и влагосодержания атмосферы (\pm СКО) по результатам двухточечных экспериментов «город–фон»

Характеристика	г. Екатеринбург (2010 г.)		Летние эксперименты в г.Томске (1997, 1999, 2000, 2006–2008 гг.)	
	«город»	«фон»	«город»	«фон»
$\tau_{0,34}^a$	0,182 \pm 0,069	0,125 \pm 0,071		
$\tau_{0,38}^a$	0,158 \pm 0,071	0,110 \pm 0,062		
$\tau_{0,44}^a$	0,153 \pm 0,044	0,090 \pm 0,052	0,149 \pm 0,077	0,148 \pm 0,084
$\tau_{0,5}^a$	0,121 \pm 0,046	0,076 \pm 0,045	0,125 \pm 0,064	0,125 \pm 0,070
$\tau_{0,675}^a$	0,047 \pm 0,027	0,046 \pm 0,032		
$\tau_{0,87}^a$	0,049 \pm 0,026	0,041 \pm 0,027	0,055 \pm 0,028	0,058 \pm 0,035
$\tau_{1,02}^a$	0,038 \pm 0,025	0,032 \pm 0,023		
W	1,031 \pm 0,449	1,066 \pm 0,419	1,74 \pm 0,57	1,79 \pm 0,57
α	1,904 \pm 0,358	1,307 \pm 0,383	1,46 \pm 0,38	1,39 \pm 0,54
β	0,033 \pm 0,016	0,033 \pm 0,024	0,045 \pm 0,016	0,048 \pm 0,024
τ^c	0,032 \pm 0,020	0,028 \pm 0,005	0,037 \pm 0,019	0,040 \pm 0,025
$\tau_{0,5}^f$	0,089 \pm 0,044	0,048 \pm 0,040	0,089 \pm 0,047	0,085 \pm 0,051

В сводной табл. 4 приведены усредненные за весь период измерений 2010 г. результаты двухточечного эксперимента «город–фон» в Екатеринбурге и для сравнения – аналогичные оптические аэрозольные характеристики, полученные для Томска в период проведения летних экспериментов «город–фон» за 1997, 1999, 2000, 2006–2008 гг. [13].

До проведения двухточечного эксперимента ожидалось, что грубодисперсная фракция аэрозоля в городе будет вносить наибольший вклад в различия между аэрозольной оптической толщиной двух территорий. Но, как видно из полученных экспериментальных данных, это не так. По-видимому, мелкодисперсный городской аэрозоль распространяется в атмосфере на большие высоты, в то время как крупнодисперсный сосредоточен на небольших высотах у поверхности земли. Это приводит к тому, что величина АОТ практически не подвержена (или слабо подвержена) воздействию крупнодисперсного городского аэрозоля.

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Для условий эксперимента летом–осенью 2010 г. обнаружено статистически значимое различие значений АОТ на всех длинах волн в диапазоне от 0,34 до 1,02 мкм, для параметра селективности в формуле Ангстрема и для тонкодисперсной компоненты аэрозольной оптической толщи, измеренных

2. Полученные данные свидетельствуют о том, что АОТ может быть использована как характеристика возмущений в аэрозольном замутнении атмосферы, обусловленных загрязнением атмосферы крупного города.

3. Величина АОТ практически не подвержена воздействию крупнодисперсного приземного городского аэрозоля.

Авторы выражают признательность С.А. Бересневу, С.Ю. Горда (Уральский федеральный университет), С.М. Сакерину (Институт оптики атмосферы СО РАН), В. Holben, А. Smirnov (Центр космических полетов Годдарда (GSFC/NASA)).

Работа выполнена при финансовой поддержке научного проекта 09-С-2-1011 по Программе УрО РАН «Фундаментальные научные исследования, выполняемые совместно с организациями СО РАН и ДВО РАН».

1. *Kusmierczyk-Michulec J.* Optical measurements of atmospheric aerosols in air quality monitoring // Air Quality – Models and Applications. InTech – Open Access Publisher, 2011. P. 153–172.
2. *Kumar N., Chu A., Foster A.* An Empirical relationship between PM2.5 and aerosol optical depth in Delhi Metropoliand // Atmos. Environ. 2007. V. 41, N 21. P. 4492–4503.
3. *Jin M., Shepherd J.M., King M.D.* Urban aerosols and their variations with clouds and rainfall: A case study for New York and Houston // J. Geophys. Res. 2005. V. 110, N D10S20. doi:10.1029/2004JD005081.

4. Koelemeijer R.B.A., Homan C.D., Matthijsen J. Comparison of spatial and temporal variations of aerosol optical thickness and particulate matter over Europe // Atmos. Environ. 2006. V. 40, N 27. P. 5304–5315.
5. Schaap M., Timmermans R.M.A., Koelemeijer R.B.A., de Leeuw G., Builtjes P.J.H. Evaluation of MODIS aerosol optical thickness over Europe using sun photometer observations // Atmos. Environ. 2008. V. 42, N 9. P. 2187–2197.
6. Holben B.N., Tanré D., Smirnov A., Eck T.F., Slutsker I., Abuhassan N., Newcomb W.W., Schafer J.S., Chatenet B., Laveny F., Kaufman Y.J., Vande Castelle J., Setzer A., Markham B., Clark D., Frouin R., Halthore R., Karneli A., O'Neill N.T., Pietras C., Pinker R.T., Voss K., Zibord G. An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET // J. Geophys. Res. D. 2001. V. 106, N 11. P. 12067 – 12097.
7. Абакумова Г.М., Плахина И.Н., Репина И.А., Ярхо Е.В. Радиационные параметры безоблачной атмосферы Москвы и Звенигорода в июле–сентябре 1992 г. // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1994. Т. 30, № 2. С. 204–209.
8. Ярхо Е.В. Временная изменчивость аэрозольной оптической толщины атмосферы в различных климатических регионах // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1994. Т. 30, № 3. С. 417–424.
9. Горбаренко Е.В. Аэрозольная составляющая оптической толщины атмосферы как характеристика антропогенного загрязнения воздуха над промышленными центрами // Метеорол. и гидрол. 1997. № 3. С. 12–18.
10. Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В. Прозрачность атмосферы в Москве за последние 50 лет и ее изменения на территории России. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 192 с.
11. Горбаренко Е.В., Ерохина А.Е., Лукин А.Б. Многолетние изменения аэрозольной оптической толщины атмосферы в России // Метеорол. и гидрол. 2006. № 7. С. 41–48.
12. Чубарова Н.Е., Свириденков М.А. Оценки городского аэрозольного загрязнения по данным CIMEL в Москве и Звенигороде и его радиационные эффекты: Тезисы докл. // Междунар. симпоз. стран СНГ «Атмосферная радиация и динамика» (МСРАД-2009). Санкт-Петербург, июнь, 2009. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2009. С. 111–112.
13. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Насртдинов И.М., Турчинович С.А., Турчинович Ю.С. Результаты двухточечных экспериментов по оценке антропогенного воздействия города на характеристики прозрачности атмосферы // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 12. С. 1108–1113.
14. Сакерин С.М., Кабанов Д.М. О взаимосвязях параметров формулы Ангстрема и аэрозольной оптической толщи атмосферы в области спектра 1–4 мкм // Оптика атмосфер. и океана. 2007. Т. 20, № 3. С. 222–228.
15. Сакерин С.М., Кабанов Д.М. Спектральная зависимость аэрозольной оптической толщи атмосферы в области спектра 0,37–4 мкм // Оптика атмосфер. и океана. 2007. Т. 20, № 2. С. 156–164.

V.A. Poddubnyi, A.P. Luzhetskaya, Yu.I. Markelov, D.M. Kabanov. Estimation of a city influence on atmospheric AOD from data of two-point measurements of the “background–industrial city” system.

The results of pair measurements of aerosol optical depth (AOD) and water vapor content of the atmosphere in the Middle Urals, carried out during summer and autumn of 2010 at an urban (Ekaterinburg) and a background (65 km away) monitoring stations, are presented. In addition, characteristics of atmospheric aerosol – Angstrom parameters α and β , fine and coarse AOD components are considered. Practically, AOD value doesn't depend on the urban coarse aerosol component. Statistically significant difference of the AOD values for the wavelengths ranging from 0.34 to 1.02 μm for the Angstrom selectivity parameter and fine component of AOD, measured at the two sites, was found. This indicates the additional contribution of urban surface aerosol to the AOD value.