

УДК 551.510.4

## Особенности временной изменчивости аэрозольной оптической толщи на Среднем Урале по данным многолетних наблюдений в городском и фоновом районе

А.П. Лужецкая, В.А. Поддубный\*

*Институт промышленной экологии УрО РАН  
620990, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 20*

Поступила в редакцию 20.05.2019 г.

Представлены обобщающие статистические характеристики результатов многолетних двухточечных измерений параметров атмосферного аэрозоля, проводимых на Среднем Урале. Выполнено сопоставление характеристик аэрозольной оптической толщи (АОТ) и особенностей временной изменчивости аэрозольного замутнения атмосферы в г. Екатеринбурге и пригородном фоновом районе. Найдены различия средних значений межгодового, годового и дневного хода АОТ, а также мелко- и грубодисперсных компонент АОТ атмосферы, полученных по данным измерений солнечных фотометров в двух районах.

*Ключевые слова:* аэрозольная оптическая толщина, мониторинг атмосферы, влияние города, фоновый район; aerosol optical depth, monitoring of the atmosphere, city effect, background area.

### Введение

Аэрозоль признан одним из самых изменчивых компонентов атмосферы Земли. Его частицы напрямую влияют на радиационный баланс и климат планеты, рассеивая и поглощая солнечную радиацию и косвенно изменяя микрофизические свойства облаков [1–4].

Оптические свойства атмосферного аэрозоля являются ключевыми факторами при исследовании прямого радиационного воздействия его на климатическую систему планеты. Из-за относительно небольшого времени нахождения аэрозольных частиц в атмосфере, а также разнообразия источников естественного и антропогенного происхождения свойства аэрозолей могут значительно различаться во времени и в пространстве. Поэтому определение роли атмосферного аэрозоля в климатических изменениях — выхолаживание или нагревание — до сих пор вызывает сложности [1]. Также известно, что аэрозоли могут оказывать существенное влияние на здоровье людей [5].

Помимо кратковременных вариаций, оптические свойства аэрозоля могут меняться на протяжении нескольких десятков лет [6, 7]. Для исследования воздействия аэрозольной компоненты на климатические изменения в различных регионах планеты проводятся многолетние наблюдения за ее временной изменчивостью.

Климатические особенности Среднего Урала определяются его географическим положением. Регион удален от океанов, лежит в глубине материка

Евразия. Средний Урал — самая низкая часть Уральского хребта, по которому проходит граница между европейской и азиатской частями России. Климат этого региона отличается умеренными температурами зимой и летом, обилием осадков, пасмурностью, мощным снеговым покровом. Во все сезоны года преобладают ветры западных направлений, нередко наблюдаются ветры северные, реже — восточные. Среднемесячная температура в январе  $-16,2$  °С, в июле  $+16,7$  °С [8].

Спектральные исследования свойств атмосферного аэрозоля на Среднем Урале начались в 2004 г. с организацией одного из пунктов международной сети мониторинга AERONET [9, 10], расположенного на некотором удалении от г. Екатеринбурга. Поскольку ближайший пост российского сегмента AERONET более чем на 1000 км отдален от точки наблюдения на Среднем Урале, исследование свойств континентального аэрозоля важно как для этого географического региона, так и для глобальных задач, связанных с изучением климата планеты. В 2010 г. с установкой в г. Екатеринбурге солнечного фотометра SP-9 начались долговременные двухточечные спектральные измерения аэрозольной оптической толщи по схеме «город — фон» [11].

Следует отметить, что анализу различий характеристик аэрозольного замутнения атмосферы в крупном промышленном центре и близлежащем фоновом районе посвящено большое количество публикаций. Например, в ходе двухточечных фотометрических измерений в районе Томска статистически значимые различия аэрозольной оптической толщи (АОТ) в пригороде и городе обнаруживались лишь в отдельных случаях в холодный период [12]. Результаты

\* Анна Павловна Лужецкая (ann@ecko.uran.ru); Василий Алексеевич Поддубный (basil@ecko.uran.ru).

экспериментов в Байкальском регионе показали, что значения АОТ в г. Улан-Удэ в среднем превышают фоновые. Этот факт объясняется антропогенным влиянием города [13, 14]. В ходе аналогичных экспериментов в районе г. Владивосток [14] также фиксировалось повышенное замутнение атмосферы в городе в сравнении с пригородом. В этом случае различия АОТ в соседних районах авторы объясняют не вкладом антропогенного аэрозоля, а влиянием грубодисперсных частиц морского происхождения.

В настоящей статье представлены основные статистические параметры аэрозольных характеристик, а также обсуждаются межгодовые, годовые и дневные вариации аэрозольного замутнения, полученные по данным многолетних фотометрических наблюдений в городском и пригородном фоновом районах на Среднем Урале.

## Характеристика экспериментальных данных

Основной (фоновый) пункт наблюдения находится в лесном массиве вблизи д. Слобода примерно в 65 км северо-западнее г. Екатеринбург на площадке Коуровской астрономической обсерватории (КАО) УрФУ (57,036° с.ш., 59,546° в.д.). Для измерений используется солнечный фотометр глобальной сети аэрозольного мониторинга AERONET CIMEL CE-318 [15].

Городской пункт наблюдения расположен в Екатеринбурге на территории Института промышленной экологии УрО РАН (56,850° с.ш., 60,655° в.д.). Аэрозольные характеристики атмосферы измеряются фотометром SP-9 [16].

Анализ проводился с использованием данных сети AERONET уровня 2.0, а результаты измерений солнечным фотометром SP-9 подвергались специальной процедуре фильтрации данных от влияния полупрозрачной облачности [12].

На основе отобранных измерений для каждого пункта были сформированы выборки разовых значений спектральных составляющих АОТ  $\tau_\lambda$  для семи (CIMEL CE-318) и тринадцати (SP-9) длин волн в диапазоне спектра солнечного излучения 0,34–2,133 мкм; общего влагосодержания атмосферы (ОВС)  $W$ , г/см<sup>2</sup>; мелко- и грубодисперсных компонент АОТ ( $\tau_{0,5} = \tau'_{0,5} + \tau^c$ ) [17].

Далее были рассчитаны массивы совместных среднечасовых значений для обоих пунктов наблюдений. Общий объем полученных таким образом данных составил 1750 совместных часовых замеров за 341 день измерений в 2010, 2013–2017 гг.

В работе проводится сопоставление характеристик АОТ в период совместных измерений по схеме «город – фон» с результатами многолетних измерений сети AERONET в КАО. Общий объем данных, полученных в ходе многолетних измерений, составил 8653 часовых замера за 2004–2017 гг.

Чтобы обеспечить сопоставимость результатов измерений двумя различными независимыми приборами, проводились регулярные интеркалибровки фотометров SP-9 и CIMEL CE-318, которые в период выполнения интеркалибровочных измерений распо-

лагались в непосредственной близости друг от друга в фоновом пункте наблюдения [11].

К настоящему времени накоплен достаточно большой массив интеркалибровочных данных (106 дней, общее количество разовых измерений – 24330, количество совместных разовых измерений – 919). Сопоставление результатов показало наличие сильной корреляционной связи между сравниваемыми аэрозольными параметрами двух приборов. Коэффициенты корреляции для двух приборов в диапазоне длин волн 0,34–1,02 мкм не опускаются ниже 0,97. Количественный анализ полученных данных за период калибровки 2010, 2013–2017 гг. показал, что средние значения АОТ и влагосодержания атмосферы, выполненные двумя разными фотометрами, статистически неразличимы, поскольку величины уровней значимости, рассчитанные по непараметрическому U-критерию Манна-Уитни, больше 0,05.

## Статистические характеристики АОТ

На первом этапе при сопоставлении результатов измерений в двух районах были получены гистограммы частотного распределения (рис. 1) и рассчитаны параметры статистического распределения для среднечасовых значений АОТ.

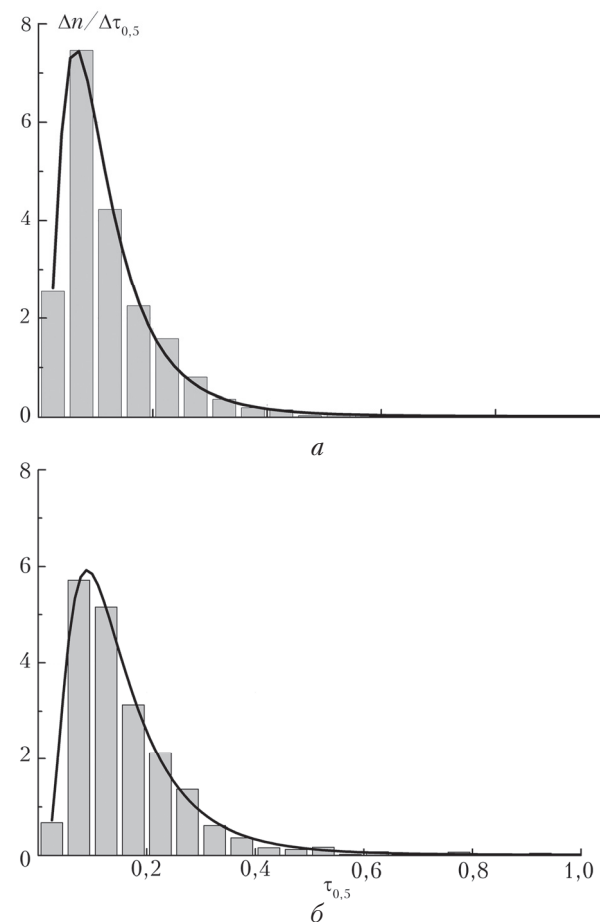


Рис. 1. Гистограммы распределения и теоретические функции плотности вероятности распределений  $\tau_{0,5}$  по результатам совместных измерений: а – в КАО; б – Екатеринбурге

Гистограммы хорошо аппроксимируются лог-нормальной функцией. Наиболее часто повторяющееся значение  $\tau_{0,5}$  (мода) находится в интервале 0,05–0,1 и встречается в ~37% случаев в КАО и ~29% в Екатеринбурге. Частота появления малых значений АОТ до 0,1 в КАО выше, чем в городе.

Графики гистограмм для других длин волн имеют аналогичный характер, а в табл. 1 приведены параметры плотности вероятности логнормального распределения АОТ вида

$$\frac{dn}{d\tau_\lambda} = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \tau_\lambda \ln \sigma_g} \exp\left(-\frac{(\ln \tau_\lambda - \ln \tau_{\lambda(g)})^2}{2 \ln^2 \sigma_g}\right),$$

где  $n$  – частота реализации значения АОТ, равного  $\tau_\lambda$ ;  $\tau_{\lambda(g)}$  – медианное значение АОТ;  $\sigma_g$  – геометрическое стандартное отклонение.

Как видно из табл. 1, чем больше длина волны, тем меньше медиана соответствующей выборки измерений и тем больше частота реализации меньших значений АОТ.

В табл. 2 представлены статистические характеристики среднечасовых измерений АОТ для семи длин волн в рассматриваемом диапазоне спектра, общих для двух приборов, и ОВС в двух пунктах наблюдений на Среднем Урале. Кроме того, приведены данные для мелко- и грубодисперсной компонент АОТ ( $\tau'_{0,5}$  и  $\tau^c$ ). В качестве характеристики количественного различия аэрозольных параметров за период парных измерений (2010, 2013–2017 гг.) в двух районах наблюдения использовалась относительная величина, рассчитанная по формуле

$$\delta_\lambda = \tau_{\lambda}^{\text{Екатеринбург}} / \tau_{\lambda}^{\text{КАО}}.$$

Как видно из табл. 2, при анализе совместных измерений наблюдаются более высокие значения АОТ в городе на всех длинах волн. Различия средних значений АОТ в двух районах являются статистически значимыми (тест Манна-Уитни). Относительные различия более существенны в диапазоне длин волн 0,87–1,02 мкм. Средние отличия ОВС двух районов составили малую величину –0,032 и статистически незначимы.

По результатам совместных измерений установлено превышение значениями грубодисперсной компоненты АОТ в г. Екатеринбурге значений в КАО в 1,6 раза. Мелкодисперсная компонента АОТ в городе слабо отличается от соответствующей величины в пригороде. Полученные результаты позволяют утверждать, что  $\tau'_{0,5}$  характеризует региональные особенности аэрозольного состава атмосферы, а  $\tau^c$  в большей степени подвержена влиянию локальных городских источников аэрозоля.

## Изменчивость характеристик АОТ на Среднем Урале

Временная изменчивость аэрозольного замутнения атмосферы обусловлена несколькими факторами: влиянием общей циркуляции атмосферы, природными явлениями, сопровождающимися генерацией аэрозоля (лесные и торфяные пожары и др.), а также процессами антропогенного загрязнения атмосферы. Все эти факторы обуславливают характерные для каждого климатического региона межгодовые, сезонные и дневные колебания АОТ.

Таблица 1

Параметры функции плотности вероятности логнормального распределения совместных среднечасовых значений АОТ

Район (период) наблюдения	Параметр	Длина волны, мкм						
		0,34	0,38	0,44	0,50	0,675	0,87	1,02
КАО (2010, 2013–2017 г.)	$\ln \tau_{\lambda(g)}$	-1,759	-1,892	-2,076	-2,254	-2,807	-3,111	-3,261
	$\ln \sigma_{\lambda(g)}$	0,669	0,669	0,663	0,673	0,733	0,717	0,687
Екатеринбург (2010, 2013–2017 г.)	$\ln \tau_{\lambda(g)}$	-1,504	-1,531	-1,867	-1,979	-2,405	-2,629	-2,833
	$\ln \sigma_{\lambda(g)}$	0,611	0,559	0,609	0,598	0,597	0,617	0,613

Таблица 2

Средние значения аэрозольных характеристик и ОВС атмосферы ( $\pm$  СКО) для массива парных среднечасовых значений и многолетних данных

Параметр	Многолетние измерения КАО (2004–2017 гг.)	Совместные измерения (2010, 2013–2017 гг.)		
		КАО	Екатеринбург	$\delta_\lambda$
$\tau_{0,34}$	$0,298 \pm 0,272$	$0,219 \pm 0,191$	$0,271 \pm 0,203$	1,233
$\tau_{0,38}$	$0,264 \pm 0,255$	$0,193 \pm 0,174$	$0,241 \pm 0,180$	1,250
$\tau_{0,44}$	$0,220 \pm 0,224$	$0,161 \pm 0,149$	$0,193 \pm 0,142$	1,204
$\tau_{0,50}$	$0,186 \pm 0,195$	$0,135 \pm 0,128$	$0,168 \pm 0,126$	1,239
$\tau_{0,675}$	$0,114 \pm 0,128$	$0,081 \pm 0,080$	$0,109 \pm 0,081$	1,354
$\tau_{0,87}$	$0,082 \pm 0,087$	$0,058 \pm 0,052$	$0,086 \pm 0,053$	1,473
$\tau_{1,02}$	$0,066 \pm 0,068$	$0,049 \pm 0,040$	$0,069 \pm 0,042$	1,417
$\tau^c$	$0,055 \pm 0,069$	$0,037 \pm 0,040$	$0,060 \pm 0,042$	1,615
$\tau'_{0,5}$	$0,130 \pm 0,133$	$0,099 \pm 0,092$	$0,108 \pm 0,092$	1,099
$W, \text{ г/см}^2$	$1,430 \pm 0,770$	$1,248 \pm 0,732$	$1,280 \pm 0,795$	1,026

На рис. 2, *a* представлен межгодовой ход  $\tau_{0,5}$ , полученный по данным многолетних измерений на Среднем Урале. Верхние и нижние стороны прямоугольников отмечают значения первого и третьего квартилей выборок многолетних измерений в КАО. Ширина прямоугольника зависит от числа измерений в выборке, соответствующей определенному году. Горизонтальная полоса в прямоугольнике — медиана, скошенные «засечки» у медианы — грубая оценка 95%-го доверительного интервала для различий медиан. Перекрытие скошенных «засечек» позволяет ожидать статистическую неразличимость медиан сравниваемых выборок измерений, соответствующих определенному году. Также на рисунке показаны среднегодовые значения  $\tau_{0,5}$  для многолетних данных в КАО и выборок совместных среднечасовых замеров в двух районах.

Из рис. 2, *a* видно, что по результатам многолетних измерений на Среднем Урале в период с 2006 по 2017 г. наблюдается тенденция уменьшения среднегодовых значений  $\tau_{0,5}$  от 0,22 до 0,11. В 2010, 2013, 2016 гг. эта тенденция была нарушена влиянием лесных и торфяных пожаров [18]. Анализ трендовой со-

ставляющей многолетнего хода АОТ показал отсутствие значимого тренда (доверительная вероятность <90%). В 2010 г. было зафиксировано наибольшее среднегодовое значение  $\tau_{0,5} = 0,247$  за весь период наблюдений. Средние значения выборок совместных замеров  $\tau_{0,5}$  в двух пунктах мониторинга за этот год существенно ниже этой величины, поскольку измерения по схеме «город — фон» проводились не в период летних пожаров 2010 г.

При сравнении вариаций средних годовых величин во время совместных измерений с соответствующими данными всего множества измерений наблюдается хорошее согласие межгодовых изменений АОТ, однако в г. Екатеринбурге фиксируются более высокие  $\tau_{0,5}$ , чем в КАО. Наиболее существенные относительные различия между городом и КАО наблюдаются для грубодисперсной компоненты АОТ (рис. 2, *б*).

На рис. 3 приведен годовой ход АОТ по результатам многолетних наблюдений на Среднем Урале и среднемесячные значения  $\tau_{0,5}$  для выборки совместных измерений в двух пунктах мониторинга. Из сравнения графиков видно хорошее согласие величин по характеру годовой изменчивости: наибольшие значения

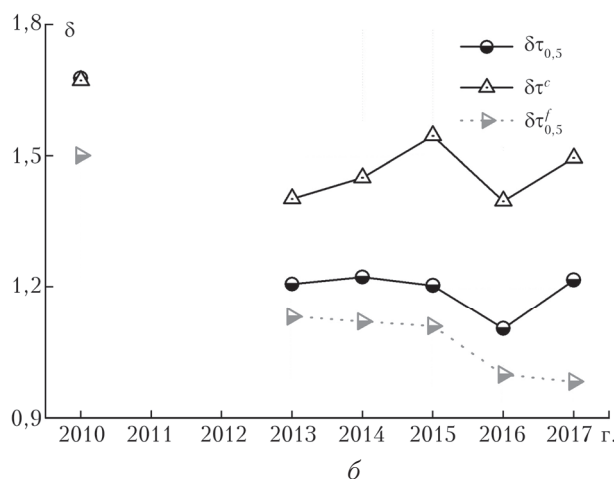
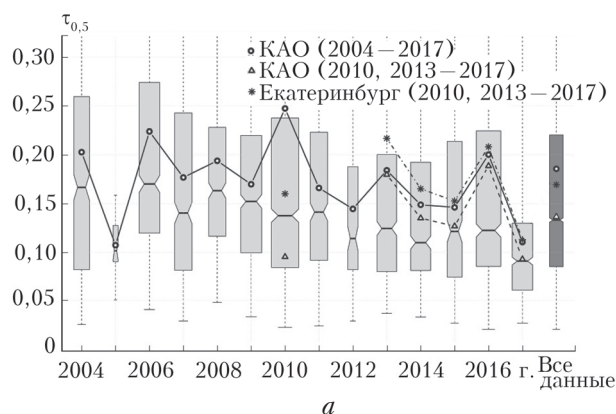


Рис. 2. Межгодовой ход  $\tau_{0,5}$  на Среднем Урале по данным многолетних измерений в сравнении со средними годовыми значениями  $\tau_{0,5}$  по данным совместных измерений в двух районах (*a*) и относительные различия в межгодовом ходе характеристик АОТ по результатам совместных измерений в г. Екатеринбурге и КАО (*б*)

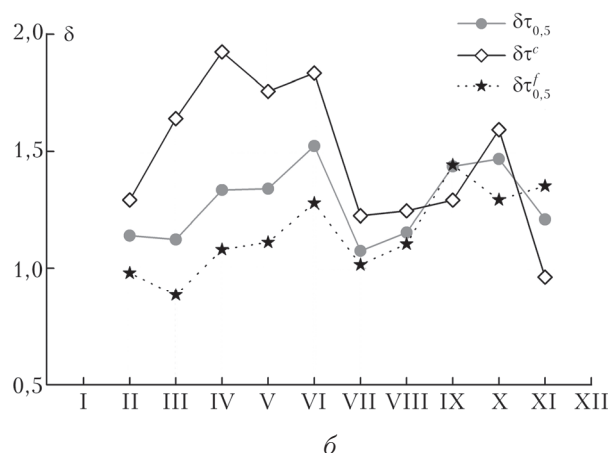
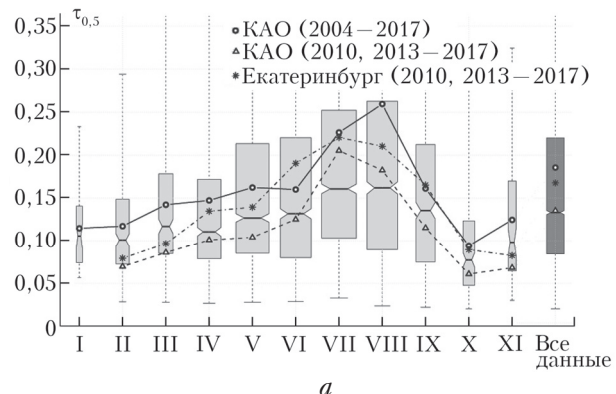


Рис. 3. Годовой ход  $\tau_{0,5}$  на Среднем Урале по данным многолетних измерений в сравнении со средними месячными значениями  $\tau_{0,5}$  по данным совместных измерений в двух пунктах (*a*) и относительные различия во внутригодовом ходе характеристик АОТ по результатам совместных измерений в г. Екатеринбурге и КАО (*б*)

аэрозольного замутнения наблюдаются в весенне-летний период, наименьшие в осенне-зимний (рис. 3, *a*). Максимальные значения АОТ приходятся на июль – август.

Недостаточное количество совместных замеров в зимний период не позволяет выявить особенности различий аэрозольных характеристик в декабре и январе. Из рис. 3 видно, что с февраля по ноябрь средние значения  $\tau_{0,5}$  в Екатеринбурге выше, чем в КАО.

Наибольшие относительные различия  $\delta\tau_{0,5}$  наблюдаются в периоды апрель – июнь и сентябрь – октябрь (рис. 3, *b*). Большее замутнение атмосферы в г. Екатеринбурге в сравнении с КАО в значительной степени обусловлено влиянием грубодисперсных аэрозольных частиц, за исключением сентября и ноября.

Дневная изменчивость АОТ атмосферы в однотипных регионах планеты, по имеющимся литературным данным, как правило, схожа. Например, результаты исследований [19] показали, что для отдельных районов, где доминируют локальные источники аэрозолей городского или промышленного типов, наблюдаются общие закономерности: АОТ устойчиво возрастает днем и достигает максимума после полудня. Изменения дневного хода  $\tau_{0,5}$  или  $\tau_{0,44}$  оценивались в процентах отклонений текущих значений от среднедневного значения и составили менее 10% в Испре (Италия); от 10% до 15% в Риме, Бухаресте и пригороде Вашингтона; 20% и более

в Балтиморе, Нью-Йорке, Буэнос-Айресе и Москве. В работах [20, 21] показано, что средние дневные вариации АОТ в г. Томске и расположенном рядом фоновом районе демонстрируют достаточно хорошее согласие: фиксируется рост аэрозольных характеристик с утра до полуденного времени, изменения  $\tau_{0,38}$  и  $\tau_{0,8}$  в течение дня составляют 10–20% относительно среднего за день.

Для Среднего Урала оценка дневной изменчивости АОТ производилась на основе подхода, предложенного в [20]. Известно, что выделение дневного хода АОТ затруднено прерывистостью рядов фотометрических измерений, обусловленной облачностью. Поэтому при расчете средних дневных зависимостей отбирались дни, в которые количество среднечасовых замеров составляло не менее шести: более двух значений до ~10 ч, в интервале ~10–14 ч и после ~14 ч. Из анализа исключались дни с присутствием в атмосфере дымов лесных пожаров и относящиеся к зимнему периоду. Для уменьшения влияния межсуточных колебаний среднечасовые величины нормировались на среднедневное значение соответствующего параметра. В результате массив совместных замеров нормированных значений  $[\tau_{0,5}]_N$  составил 1750 усредненных за 1 ч измерений (343 дня).

Дневной ход нормированных  $[\tau_{0,5}]_N$ ,  $[\tau_{0,5}^f]_N$ ,  $[\tau^c]_N$  в двух районах представлен на рис. 4.

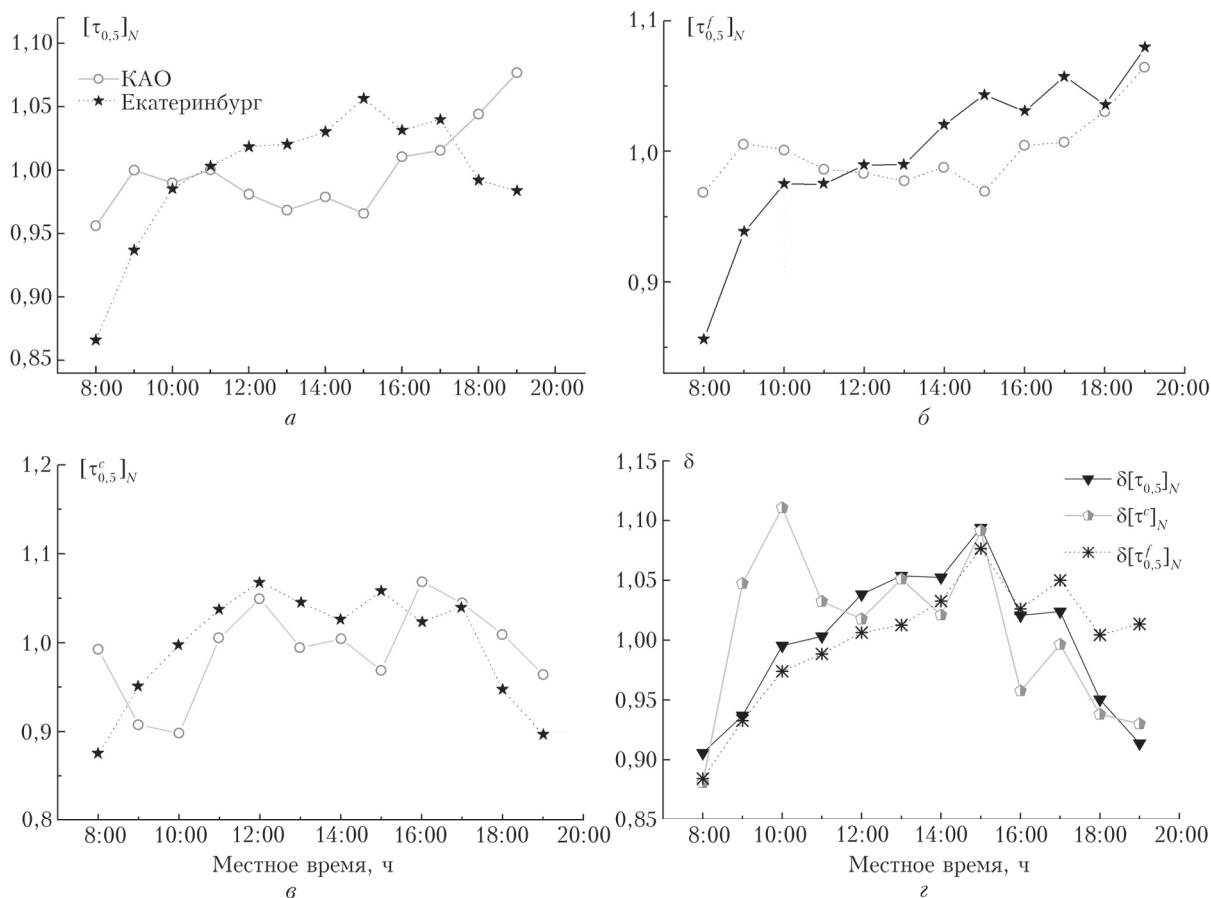


Рис. 4. Дневной ход: *a* –  $[\tau_{0,5}]_N$ ; *b* –  $[\tau_{0,5}^f]_N$ ; *c* –  $[\tau^c]_N$  по результатам совместных измерений в двух районах; *z* – их относительные различия

Можно отметить, что дневная динамика  $[\tau_{0,5}]_N$  в двух районах на Среднем Урале имеет отличия. В пригородном пункте величина  $[\tau_{0,5}]_N$  незначительно изменяется в течение дня и увеличивается в вечерние часы. Минимальные значения  $[\tau_{0,5}]_N$  наблюдаются в утренние (8:00) и послеполуденные часы (12:00–15:00) (по местному солнечному времени), максимальные – в вечернее время. Изменение АОТ в КАО относительно среднего дневного значения составляет ~8%. В городе аэрозольное замутнение атмосферы принимает минимальное значение в утренние часы (8:00), достигает максимума в 15:00, а затем начинается вечерний спад. Дневные колебания  $[\tau_{0,5}]_N$  составляют ~13% (рис. 4, а).

Средняя дневная динамика нормированных  $[\tau'_{0,5}]_N$  в пунктах мониторинга хорошо согласуется между собой: в первой половине дня мелкодисперсная компонента имеет значение в основном ниже среднедневного, а после 13:00 (в Екатеринбурге) и 16:00 (в КАО) превышает его; наибольшее содержание мелкодисперсного аэрозоля  $[\tau'_{0,5}]_N$  наблюдается в вечерние часы (рис. 4, б).

Иной ход как в городских, так и в фоновых условиях наблюдается для грубодисперсной фракции аэрозоля: в Екатеринбурге  $[\tau^c]_N$  в утренние и вечерние часы принимает минимальные значения, а в течение дня – выше среднедневного. В КАО содержание грубодисперсного аэрозоля относительно среднедневного значения колеблется в течение всего дня (рис. 4, в).

Относительные различия дневного хода мелкодисперсной фракции АОТ и общего содержания аэрозоля в двух районах хорошо согласуются между собой: максимальные различия  $\delta[\tau_{0,5}]_N$  наблюдаются с 13:00 до 16:00. В утренние часы в Екатеринбурге фиксируется меньшее содержание общего и мелкодисперсного аэрозоля в сравнении с КАО. В вечернее время величина  $[\tau_{0,5}]_N$  в КАО превышает городские значения.

Данные рис. 4, г показывают, что больший вклад в величину относительных различий  $\delta[\tau_{0,5}]_N$  до 13:00 вносит грубодисперсная составляющая АОТ, а с 16:00 до 19:00 – мелкодисперсная фракция частиц.

## Заключение

На основе результатов долговременных спектральных измерений АОТ в двух соседних районах на Среднем Урале выявлено статистически значимое отличие аэрозольного замутнения атмосферы. В городе в среднем наблюдаются более высокие значения характеристик АОТ в сравнении с соседним фоновым районом. Относительные различия средних значений АОТ составляют от 1,2 до 1,5 раз в разных участках спектрального диапазона от 0,34 до 1,02 мкм. Значение грубодисперсной  $\tau^c$  компоненты АОТ в Екатеринбурге превышает соответствующую величину в КАО в 1,6 раз.

Отличие Екатеринбурга от КАО проявилось также в специфике дневной изменчивости АОТ. В пригородном пункте величина  $[\tau_{0,5}]_N$  незначительно изменяется в течение дня и увеличивается

в вечерние часы. В городе аэрозольное замутнение устойчиво растет днем, достигая максимального значения после полудня, а затем начинается вечерний спад.

Полученные результаты говорят о значимом влиянии города на аэрозольное замутнение атмосферы, что следует учитывать при анализе данных глобальной сети мониторинга AERONET.

Авторы работы выражают благодарность коллегам: Панченко М.В., Сакерину С.М., Горде С.Ю., Бересневу С.А., Маркелову Ю.И., Holben B.N., Smirnov A.V. за содействие в проведении измерений.

1. Myhre G., Shindell D., Bréon F.-M., Collins W., Fuglestedt J., Huang J., Koch D., Lamarque J.-F., Lee D., Mendoza B., Nakajima T., Robock A., Stephens G., Takemura T., Zhang H. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing // *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, 2013. P. 659–740.
2. Yu H., Kaufman Y., Chin M., Feingold G., Remer L., Anderson T., Balkanski Y., Bellouin N., Boucher O., Christopher S., DeCola P., Kahn R., Koch D., Loeb N., Reddy M., Schulz M., Takemura T., Zhou M. A review of measurement-based assessments of the aerosol direct radiative effect and forcing // *Atmos. Chem. Phys.* 2006. V. 6, N 3. P. 613–666.
3. Кондратьев К.Я. Аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. 2. Прямое и косвенное воздействие на климат // *Оптика атмосф. и океана*. 2002. Т. 15, № 4. С. 301–320.
4. Кондратьев К.Я. Аэрозоль и климат: современное состояние и перспективы разработок. 3. Аэрозольное радиационное возмущающее воздействие // *Оптика атмосф. и океана*. 2006. Т. 19, № 7. С. 565–575.
5. Schwarze P.E., Övrevik J., Lag M., Refsnes M., Nafstad P., Hetland R.B., Dybing E. Particulate matter properties and health effects: consistency of epidemiological and toxicological studies // *Hum. Exp. Toxicol.* 2006. V. 25. P. 559–579.
6. Сакерин С.М., Горбаренко Е.В., Кабанов Д.М. Особенности многолетней изменчивости аэрозольной оптической толщи атмосферы и оценки влияния различных факторов // *Оптика атмосф. и океана*. 2008. Т. 21, № 7. С. 625–631
7. Плахина И.Н., Панкратова Н.В., Махоткина Е.Л. Вариации аэрозоля в толще атмосферы по данным Российской актинометрической сети (1976–2006 гг.) // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана*. 2009. Т. 45, № 4. С. 489–500
8. *Научно-прикладной справочник по климату СССР Сер. 3. Пермская, Свердловская, Челябинская, Курганская области, Башкирская АССР* // Л.: Гидрометеоздат, 1990. Вып. 9, ч. 1–6. 558 с.
9. Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakajima 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.
10. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Панченко М.В., Полкин В.В., Холбен Б.Н., Смирнов А.В., Береснев С.А., Горда С.Ю., Корниенко Г.И., Николашкин С.В., Поддубный В.А., Тацилин М.А. Результаты мониторинга атмосферного аэрозоля в азиатской части России по программе AEROSIBNET в 2004 г. // *Оптика атмосф. и океана*. 2005. Т. 18, № 11. С. 968–975.

11. Поддубный В.А., Лужецкая А.П., Маркелов Ю.И., Кабанов Д.М. Оценка влияния города на аэрозольное замутнение атмосферы по данным двухточечных измерений «фон–промышленный город» // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 4. С. 319–326.
12. Исследование радиационных характеристик аэрозоля в азиатской части России / под ред. С.М. Сакерина. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2012. 484 с.
13. Заяханов А.С., Жамсуева Г.С., Нагуслаев С.А., Цыдыпов В.В., Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Таццилин М.А. Результаты исследований аэрозольной оптической толщи атмосферы в Байкальском регионе // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 466–470.
14. Кабанов Д.М., Жамсуева Г.С., Заяханов А.С., Корниенко Г.И., Нагуслаев С.А., Павлов А.Н., Панченко М.В., Пестунов Д.А., Сакерин С.М., Шмирко К.А. О результатах двухточечных измерений аэрозольной оптической толщи атмосферы в нескольких регионах России // Оптика атмосфер. и океана. 2016. Т. 29, № 11. С. 960–971.
15. Automatic suntracking photometer CE-318. User manual [Электронный ресурс]. URL: [http://support.cimel.fr/photo/sunph\\_us.htm](http://support.cimel.fr/photo/sunph_us.htm) (дата обращения: 20.01.2019).
16. Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Турчинович С.А. Солнечный фотометр для научного мониторинга (аппаратура, методики, алгоритмы) // Оптика атмосфер. и океана. 2001. Т. 14, № 12. С. 1162–1169.
17. Сакерин С.М., Кабанов Д.М. Мелко- и грубодисперсные компоненты аэрозольной оптической толщи атмосферы в морских и полярных районах // Оптика атмосфер. и океана. 2015. Т. 28, № 8. С. 690–697.
18. Поддубный В.А., Лужецкая А.П., Маркелов Ю.И., Береснев С.А., Горда С.Ю., Сакерин С.М. Особенности оптических характеристик атмосферного аэрозоля на Среднем Урале // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2013. Т. 9, № 3. С. 1–9.
19. Smirnov A., Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Chatenet B., Pinker R.T. Diurnal variability of aerosol optical depth observed at AERONET (Aerosol Robotic Network) sites // Geophys. Res. Lett. 2002. V. 29, N 23. P. 2115. DOI: 10.1029/2002GL016305.
20. Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Сакерин С.М. О дневной изменчивости аэрозольной оптической толщи атмосферы и радиационного форсинга аэрозоля // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 8. С. 700–709.
21. Кабанов Д.М., Береснев С.А., Горда С.Ю., Корниенко Г.И., Николашкин С.В., Сакерин С.М., Таццилин М.А. Дневной ход аэрозольной оптической толщи атмосферы в нескольких регионах азиатской части России // Оптика атмосфер. и океана. 2013. Т. 26, № 4. С. 291–296.

***A.P. Luzhetskaya, V.A. Poddubny. Features of temporal variability of aerosol optical depth in the Middle Urals according to long-term observations at the urban and background sites.***

The generalized statistical characteristics of the results of long-term two-point measurements of atmospheric aerosol parameters carried out in the Middle Urals are presented. The characteristics of the aerosol optical depth (AOD) and the features of the temporal variability of aerosol atmospheric turbidity in Yekaterinburg and the rural background area are compared. The differences in the mean values, interannual, annual, and diurnal variability of AOD, and of coarse and fine AOD modes are found.