

ОПТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И БАЗЫ ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

УДК 551.510.4

Влияние города на аэрозольные характеристики атмосферы Академгородка г. Томска в переходные сезоны

Е.П. Яушева, М.В. Панченко, В.С. Козлов, С.А. Терпугова, Д.Г. Чернов*

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

Поступила в редакцию 11.06.2014 г.

По результатам двухточечных экспериментов на Аэрозольной станции в Академгородке г. Томска и фоновом районе в весенний и осенний периоды 2011 г., а также по данным предыдущих наблюдений исследуется влияние города на оптические характеристики, получаемые в мониторинговом режиме на Аэрозольной станции ИОА СО РАН. Проанализированы особенности временной динамики и суточного хода массовых концентраций сухой основы субмикронного аэрозоля и сажи, параметра конденсационной активности частиц в приземном слое атмосферы. Показано, что в последние несколько лет воздействие города на аэрозольные характеристики атмосферы в районе Академгородка возрастает. Установлено, что средние значения концентрации аэрозоля на Аэрозольной станции превысили значения концентраций в обсерватории «Фоновая» за весенний период измерений в 1,7 раза, осенью – в 1,1 раза, для сажи – в 2,0 и 1,8 раза соответственно. В среднем суточном ходе максимальные различия концентраций аэрозоля и сажи (до 3 раз) наблюдаются в период вечерне-ночного максимума.

Ключевые слова: среднерегionalный аэрозольный фон, воздействие города, субмикронный аэрозоль, сажа, массовые концентрации, параметр конденсационной активности, весенний и осенний сезоны; regional background aerosol, impact of city, submicron aerosol, black carbon, mass concentration, parameter of condensation activity, spring and autumn seasons.

Введение

Для комплексного изучения региональной «аэрозольной погоды» с 1997 г. на Аэрозольной станции Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (АС), расположенной в Академгородке на юго-восточной окраине г. Томска (56,28° с.ш., 85,05° в.д.), в мониторинговом режиме проводятся измерения оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в приземном слое атмосферы [1, 2]. Близость к пункту измерения развивающегося промышленного города обуславливает необходимость регулярной оценки соотношения между региональным аэрозольным фоном и вкладом городских загрязнений. Анализу влияния городов на состав атмосферы в различных географических районах посвящено большое число публикаций (см., например, [3–13]). В ряде работ были проведены исследования влияния г. Томска на различные аэрозольные характеристики. Так, в [14–16] представлен сравнительный анализ счетной концентрации частиц и газового состава атмосферы в г. Томске и фоновом районе, в [17] – анализ дневного хода аэрозольной оптической толщи.

Для определения влияния городских источников на характеристики субмикронного аэрозоля, регистрируемые на Аэрозольной станции, нами в разные сезоны года регулярно проводятся циклы параллельных измерений в обсерватории «Фоновая», расположенной в 60 км западнее г. Томска в лесном районе на берегу р. Оби (рис. 1, а). Выбор этой обсерватории был обусловлен тем, что в регионе преобладают южные и юго-западные ветры [18, 19] и, следовательно, вероятность непосредственных переносов загрязненного воздуха со стороны г. Томска весьма мала.

Сравнение данных, полученных летом 1993 г. на АС и обсерватории «Фоновая», свидетельствовало о том, что временная динамика наблюдаемых характеристик определяется процессами регионального масштаба (лишь в 10% случаев проявлялось влияние города) [20]. Следует отметить, что эксперимент проводился летом, когда процессы переноса воздуха в вертикальном направлении гораздо интенсивнее, чем в остальные сезоны. Но уже в весенних наблюдениях 2001 г. было отмечено, что более высокие значения концентраций аэрозоля и сажи (в среднем в 1,3 и 1,15 раза соответственно) регистрируются на Аэрозольной станции, причем достоверные по критерию Стьюдента (с вероятностью 0,95) различия наблюдались в 60% суточных реализаций.

В последние несколько лет ситуация в районе нашего основного пункта мониторинга (АС)

* Елена Петровна Яушева (helen@iao.ru); Михаил Васильевич Панченко (pmv@iao.ru); Валерий Степанович Козлов (vkozlov@iao.ru); Светлана Александровна Терпугова (swet@iao.ru); Дмитрий Григорьевич Чернов (chernov@iao.ru).

значительно изменилась. Вблизи Академгородка с восточной стороны был построен коттеджный поселок, а с северной стороны — комплекс многоэтажных домов. Более того, в непосредственной близости появилась крупная транспортная развязка, а в Томске, по данным ГИБДД, за 6 лет количество автомобилей увеличилось в 1,5 раза [21].

Очевидно, что такое увеличение источников загрязнений могло серьезно повлиять на аэрозольный состав воздуха в приземном слое атмосферы Академгородка. Понятно, что рост вклада антропогенной составляющей, поступающей в атмосферу непосредственно от близко расположенного города, представляет серьезную проблему для корректного выделения региональных и местных процессов, определяющих «аэрозольную погоду».

С учетом этих обстоятельств для оценки влияния города на измеряемые характеристики в 2011 г. были проведены весенний и осенний циклы одновременных измерений массовых концентраций аэрозоля M_A и сажи (black carbon) M_{BC} , а также гигрооптических характеристик на Аэрозольной станции и в обсерватории «Фоновая» (рис. 1).

Аппаратура и методика измерений

На Аэрозольной станции ИОА СО РАН (рис. 1, б) ведутся непрерывные измерения коэффициента направленного рассеяния сухой основы субмикронных аэрозольных частиц $\mu(45^\circ)$ ($Mm^{-1} \cdot sr^{-1}$) и массовой концентрации поглощающего вещества в составе аэрозольных частиц — сажи M_{BC} ($мкг/м^3$) [1, 2].

Измерения аэрозольных характеристик выполняются в автоматическом режиме круглосуточно, с периодичностью 1 раз в час. Регистрация коэффициента направленного аэрозольного рассеяния под углом 45° проводится с помощью нефелометра типа ФАН (длина волны 0,51 мкм) с чувствительностью около $1 Mm^{-1} \cdot sr^{-1}$. По данным о коэффициенте направленного аэрозольного рассеяния μ оценивается массовая концентрация субмикронного аэрозоля M_A ($мкг/м^3$) [22]. Массовая концентрация поглощающего вещества M_{BC} измеряется с чувствительностью около $10 нг/м^3$ аэталометром, аналогичным по принципу действия используемому в [23].

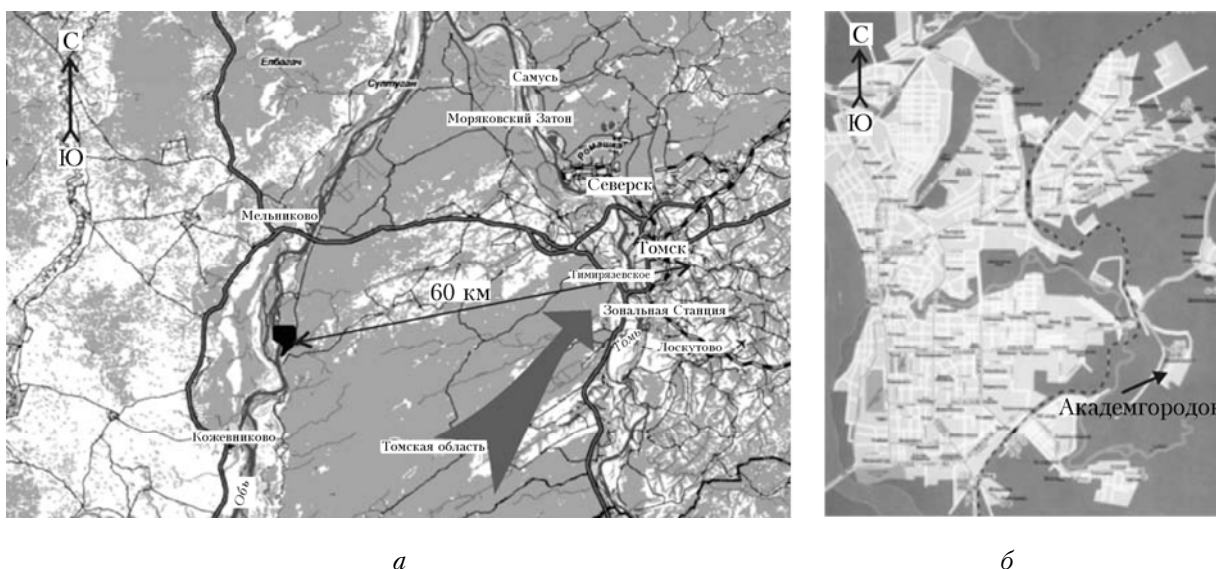


Рис. 1. Карта расположения пунктов наблюдений: слева — обсерватория «Фоновая», справа — Аэрозольная станция (а); карта-схема г. Томска с указанием расположения Академгородка (б). Фигурная стрелка показывает основное направление переноса воздушных масс в регионе

Выбор сроков проведения сравнительных наблюдений был обусловлен следующими соображениями: а) весенний период совпадает с заключительной стадией отопительного сезона, а осенний, наоборот, с его началом; б) в марте—апреле, так же как и сентябре—октябре, в Томской области погода характеризуется, как правило, высокой синоптической неустойчивостью. В это время частая смена воздушных масс способствует быстрому очищению атмосферы города от загрязнений, а периоды штиля позволяют оценить динамику их накоплений. Благодаря этому появилась возможность проведения сравнительных оценок для различных ситуаций за относительно короткий промежуток времени.

Эти приборы, методики калибровки и измерений детально описаны в [24, 25].

Для изучения конденсационной активности — одной из важнейших характеристик субмикронного аэрозоля — ежедневно осуществляется запись гигрограмм, т.е. зависимостей коэффициента рассеяния от относительной влажности воздуха при искусственном увлажнении воздушного потока, проходящего через камеру нефелометра.

Получаемые зависимости обрабатываются с использованием известной формулы Кастена—Хенела, по которой рассчитывается параметр конденсационной активности γ [26]. Эти измерения проводятся, как правило, один раз в сутки и несколько раз

в сутки в периоды проведения различных комплексных экспериментов.

Результаты исследований

Весенний период

Весенние измерения проводились с 16 марта по 9 апреля 2011 г. За этот период район наблюдений часто оказывался в зоне теплых и холодных фронтов, происходила частая смена воздушных масс, две трети дней были с осадками (снег, дождь). Ветры преобладали преимущественно южного и юго-западного направлений.

Массовые концентрации аэрозоля и сажи

Массовая концентрация субмикронного аэрозоля в обсерватории «Фоновая» измерялась с перерывами (по техническим причинам) в целом 16 сут, а массовая концентрация сажи 12 сут. Аэрозольная станция работала непрерывно. Временной ход среднесуточных значений M_A и M_{BC} представлен на рис. 2.

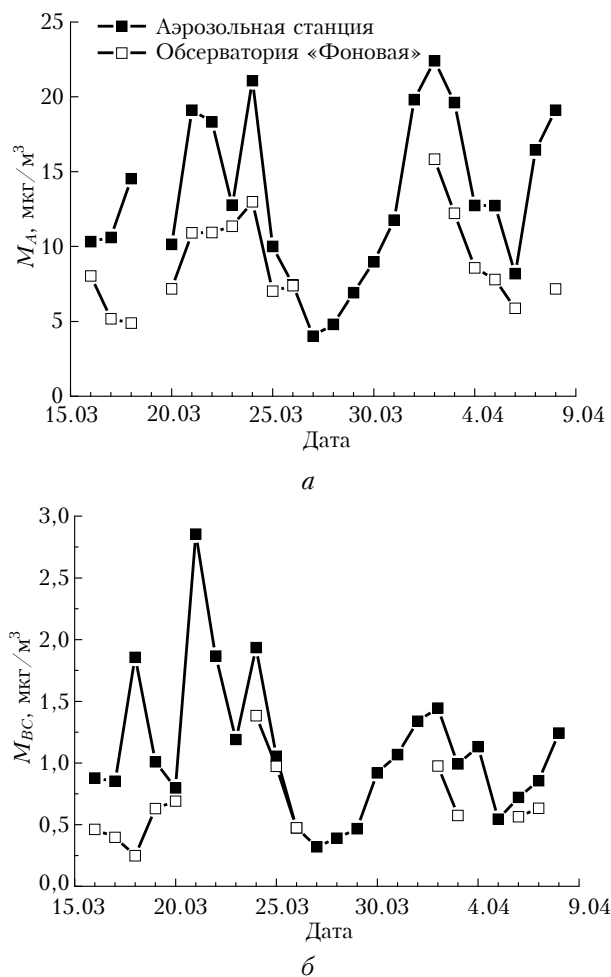


Рис. 2. Временной ход среднесуточных значений концентраций субмикронного аэрозоля (а) и сажи (б) на Аэрозольной станции и в обсерватории «Фоновая» в весенний период измерений

Видно, что вариации содержания аэрозоля и сажи в двух пунктах хорошо синхронизованы между собой, что в основном определяется изменением синоптической ситуации в регионе.

В то же время важно отметить, что многие реализации M_A и M_{BC} на АС и «Фоновая» заметно отличаются между собой количественно. Оценки показывают, что для большинства реализаций (80%) среднесуточные значения M_A и M_{BC} в двух пунктах достоверно различны (и только в трех случаях отмечено совпадение значений характеристик). Как для M_A , так и для M_{BC} в 60% случаев от общего количества дней совместных измерений на АС наблюдается увеличение в 1,3–2 раза по сравнению с обсерваторией «Фоновая» и в 20% случаев – более чем в 2 раза.

Для детального анализа целесообразно провести сравнение суточного хода измеряемых аэрозольных характеристик. Очевидно, что в течение суток временная и пространственная динамика интенсивности антропогенных источников в г. Томске, развития «городского острова тепла» и соответственно «шапки загрязнений» может сказаться на измерениях, проводимых на АС [27–29].

Как и следовало ожидать, хорошо известные основные черты среднего суточного хода аэрозольных характеристик в приземном слое атмосферы (дневной минимум и вечерне-ночной максимум) [2] наблюдаются в обоих пунктах измерений (рис. 3).

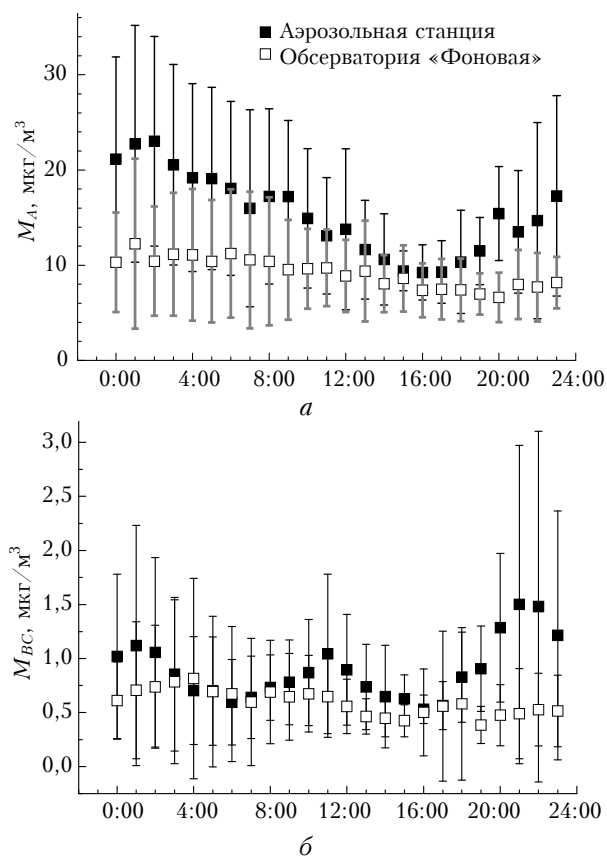


Рис. 3. Средний суточный ход M_A (а) и M_{BC} (б) на Аэрозольной станции и в обсерватории «Фоновая» в весенний период измерений

Отметим, что различия поведения массовой концентрации аэрозоля M_A на АС и обсерватории «Фоновая» проявляются в основном в амплитуде между минимумом и максимумом. На кривых суточного хода массовой концентрации сажи M_{BC} в данных, полученных в Академгородке, отчетливо выражены утренний и вечерний максимумы (рис. 3, б). По-видимому, здесь формирование этих максимумов определяется поступлением частиц сажи, вызванным интенсивным утренним и вечерним движением автотранспорта, началом и окончанием работы предприятий в центре города. Заметим, что максимальные значения содержания сажи «отстают» на несколько часов от значений пиковой антропогенной нагрузки в центральной части города и обусловлены постепенным распространением городских загрязнений на пригородные территории [30]. Кроме того, формированию вечернего максимума концентраций аэрозоля и сажи также в значительной степени способствуют образующиеся, особенно в антициклональных погодных условиях, в вечерний период суток приземные температурные инверсии [31, 32], приводящие к накоплению аэрозоля в приземном слое.

Максимальные количественные отличия в суточном ходе концентрации аэрозоля в двух пунктах наблюдений отмечены примерно в 01:00 — на Аэрозольной станции значения аэрозоля в среднем больше в 2 раза (АС/фон). Наибольшее превышение сажи на Аэрозольной станции отмечается в 20:00–22:00 (в период вечернего максимума) и составляет примерно 3 раза.

Исследование конденсационной активности

Конденсационная активность аэрозоля, являясь одним из наиболее важных параметров, определяющих изменение его свойств, главным образом зависит от химического состава и микроструктуры. Помимо абсолютных значений параметра конденсационной активности, важной характеристикой гигроскопических свойств частиц атмосферного аэрозоля является вид гигрограммы, а именно наличие или отсутствие явно выраженного фазового перехода при определенном значении относительной влажности воздуха [33]. Длительные измерения, которые ведутся с 1998 г., обеспечили подробную информацию о сезонном и межгодовом ходе регистрируемых на Аэрозольной станции параметров конденсационной активности [33]. Проведенные в 1993, 2001, 2009, 2010 гг. циклы синхронных измерений гигрограмм на Аэрозольной станции и обсерватории «Фоновая» заметных различий не выявили [34].

Исходя из основной цели работы, необходимо проанализировать возможные различия и между результатами наблюдений гигрооптических характеристик в двух рассматриваемых пунктах в современной ситуации. Для сравнительного анализа были привлечены данные, полученные в период с 16 марта по 6 апреля 2011 г. При постановке наблюдений на

Аэрозольной станции измерения осуществлялись в характерных точках суточного хода аэрозольных характеристик: в 08:00 (после восхода солнца), 11:00 (время ежедневных круглогодичных измерений), 15:00 (дневной максимум температуры приземного воздуха) и в 21:00 (вечерний максимум концентрации сажи). Регистрация гигрограмм в обсерватории «Фоновая» проводилась ежедневно в автоматическом режиме.

На рис. 4, а представлен временной ход параметра γ , измеренного в двух пунктах, а на рис. 4, б — суточный ход значений γ , нормированных на среднесуточную величину. Как видим, в целом наблюдается хорошо синхронизованный ход временной изменчивости γ в двух пунктах. Подчеркнем, что в большинстве ситуаций (~70%) данные АС и «Фоновая» совпадают и по абсолютной величине (в пределах погрешности измерений). Различия единичных значений γ во временной развертке наблюдаются в основном в период прохождения атмосферных фронтов, когда в одном пункте уже произошла смена воздушной массы, а в другом еще нет.

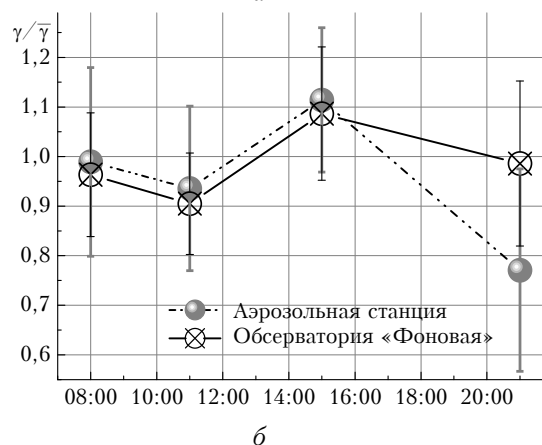
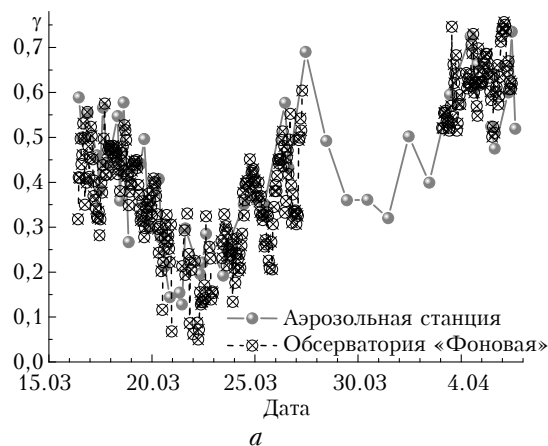


Рис. 4. Временной ход параметра конденсационной активности (а) и суточный ход его нормированных значений (б) на Аэрозольной станции и обсерватории «Фоновая» в весенний период измерений

Суточный ход нормированных значений γ (см. рис. 4, б) достаточно типичен для этого сезона года и вполне соответствует данным многолетних на-

блюдений. Характерными особенностями суточного хода параметра конденсационной активности на Аэрозольной станции являются его максимум в дневное время и снижение к вечеру. Проводившиеся ранее циклы измерений в весенний сезон выявили статистическую достоверность различий значений γ в максимуме и минимуме, а также его межгодовую устойчивость [35, 36].

Сравнение суточного хода в двух пунктах измерений показало схожесть вариаций параметра γ в утренние и дневные часы и значительное его уменьшение на Аэрозольной станции в вечерние часы, т.е. во время максимума концентраций аэрозоля и сажи. Следует отметить, что именно в этот период здесь особенно сильно возрастает содержание сажи (см. рис. 3, б).

Из сопоставления вида гистограмм [33] видно, что за рассматриваемый период в двух пунктах наблюдений синхронно чередовались следующие типы зависимостей: 16–19 марта – G2 (с фазовым переходом), 20–23 марта – G0 (без фазового перехода), 25–27 марта и 3–6 апреля – G2 (с фазовым переходом). Из приведенных данных можно заключить, что в весенний период зависимость коэффициента рассеяния от относительной влажности воздуха в большинстве реализаций как на Аэрозольной станции, так и обсерватории «Фоновая» определяется в основном частицами со сходными микрофизическими свойствами. Исключение составляют лишь периоды сильного вечернего накопления аэрозоля и сажи в атмосфере Академгородка.

Осенний период

Второй цикл синхронных измерений был проведен с 19 сентября по 17 октября 2011 г. Осенью, по данным наших многолетних измерений, значения параметра конденсационной активности в среднем достаточно низки (~0,3). Следовательно, с учетом случайных погрешностей определения γ , проблематичны и возможности корректной оценки значимых различий между двумя пунктами измерений.

Поэтому в обоих пунктах были проведены только измерения массовых концентраций субмикронного аэрозоля и сажи. Часть полученных данных соответствовала наблюдениям в условиях дымовых шлейфов лесных пожаров. В итоге из рассмотрения были исключены 11 сут, подверженных воздействию дымов. Для сравнительного анализа рассмотрены 18 сут одновременных измерений. Осенью, так же как и весной, синоптическая ситуация характеризовалась нестабильностью, происходила частая смена воздушных масс, наблюдались осадки и туманы.

Временной ход среднесуточных значений M_A и M_{BC} показан на рис. 5. Отметим, что в целом наблюдается синхронная изменчивость измеряемых характеристик.

Выявлено, что среднесуточные значения M_A (для 10 сут измерений) и M_{BC} (для 3 сут) в двух пунктах достоверно неразличимы. Это составляет

в среднем 60 и 20% от общего числа суток измерений соответственно.

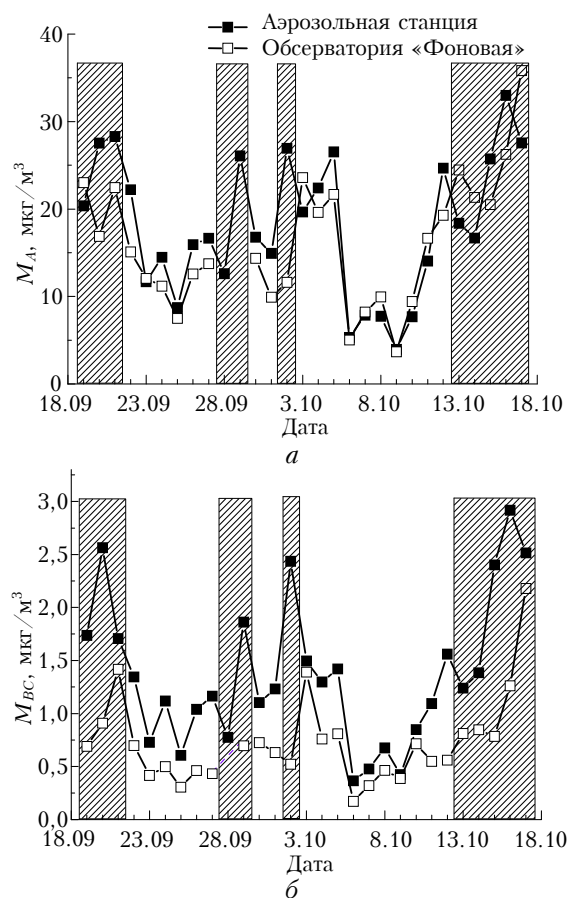
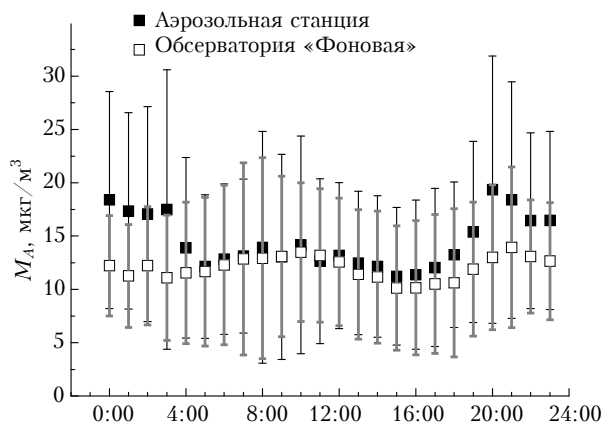


Рис. 5. Временной ход среднесуточных значений массовых концентраций субмикронного аэрозоля (а) и сажи (б) на Аэрозольной станции и в обсерватории «Фоновая» в осенний период измерений (заштрихованные области – периоды лесных пожаров)

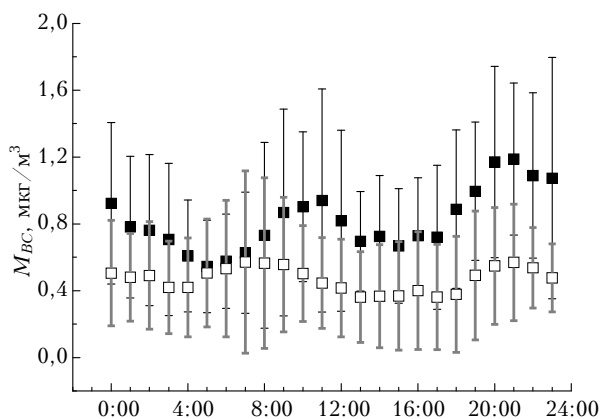
При этом на Аэрозольной станции среднесуточные значения M_A могут превышать фоновые уровни до 1,3 раза (для 5 сут), а значения M_{BC} в большинстве случаев (для 10 сут) – до 2 раз.

Для четырех дней наблюдалось обратное соотношение среднесуточных значений M_A . Воздействующим фактором послужили синоптические ситуации, а именно смена воздушных масс. В эти дни пункты наблюдений неоднократно попадали в зону прохождения холодных и теплых фронтов, наблюдались дожди. Наиболее ярко это проявилось 8 октября, когда массовая концентрация аэрозоля в Томске была меньше наблюдаемой в обсерватории «Фоновая» в 1,2 раза. В этот день через пункты измерений трижды проходили атмосферные фронты, произошла смена воздушной массы, шли дожди.

Средний суточный ход рассматриваемых аэрозольных характеристик представлен на рис. 6. Отметим, что в осенний период на АС и в фоновых условиях проявляются отчетливо два максимума концентраций аэрозоля и сажи – утренний и вечерний.



а



б

Рис. 6. Средний суточный ход M_A (а) и M_{BC} (б) на Аэрозольной станции и обсерватории «Фоновая» в осенний период измерений

Так же как и в весенний период, отметим запаздывание утреннего максимума сажи в Академгородке по сравнению с фоновыми условиями. Наибольшие различия M_A и M_{BC} зафиксированы во второй половине суток. В период вечернего максимума (20:00–22:00) массовая концентрация аэрозоля на Аэрозольной станции превышает показания в обсерватории «Фоновая» в 1,4 раза, а сажи — в 2,2 раза.

Обобщенные данные по средним концентрациям аэрозоля и сажи за периоды измерений для весеннего и осеннего циклов наблюдений и результаты их сопоставления представлены в таблице.

Средние значения и СКО концентраций аэрозоля и сажи в весенний (с 16 марта по 9 апреля) и осенний (с 19 сентября по 17 октября) периоды 2011 г., средние значения среднесуточных отношений АС/фон и их СКО, количество реализаций (N)

Сезон	Концентрация, мкг/м ³	Аэрозольная станция	Обсерватория «Фоновая»	АС/фон	N
Весна	M_A	$14,5 \pm 8,1$	$9,3 \pm 5,6$	$1,7 \pm 0,5$	16
	M_{BC}	$1,07 \pm 0,85$	$0,69 \pm 0,51$	$2,0 \pm 1,8$	12
Осень	M_A	$14,5 \pm 8,8$	$13,0 \pm 7,0$	$1,1 \pm 0,2$	18
	M_{BC}	$1,04 \pm 0,59$	$0,60 \pm 0,39$	$1,8 \pm 0,5$	18

Средние значения измеряемых параметров и их среднеквадратические отклонения (СКО) для каждого цикла измерений получены путем осреднения среднесуточных значений.

Заключение

Сравнение результатов двухточечных наблюдений в переходные сезоны года предыдущих лет и данных 2011 г. выявило, что влияние городских аэрозольных загрязнений на измеряемые в Академгородке г. Томска характеристики в последние годы существенно возросло. Оказалось, что весной около 80% среднесуточных значений массовых концентраций M_A и M_{BC} в двух пунктах достоверно различаются. Осенью соответствующие достоверные различия АС/фон для среднесуточных значений M_A и M_{BC} наблюдаются приблизительно в 40 и 80% реализаций.

Оценки показали, что превышение средних значений концентрации субмикронного аэрозоля на Аэрозольной станции над ее значениями в обсерватории «Фоновая» весной составило 1,7 раза, осенью — 1,1 раза, для сажи — 2,0 и 1,8 раза соответственно. В суточном ходе максимальные различия АС/фон наблюдаются в период вечерне-ночного максимума и могут достигать 2 раз для аэрозоля и 3 раз для сажи. В это же время регистрируются и достоверные различия в значениях параметра конденсационной активности.

Обратим внимание на факт, что и весной, и осенью зафиксированы близкие соотношения АС/фон для массовой концентрации сажи. Вероятно, что здесь сказывается влияние резкого роста вблизи Академгородка транспортной нагрузки и возникших в последние годы жилых комплексов как важных факторов антропогенного воздействия.

Суммируя результаты работы, следует заключить, что в настоящей ситуации возникла обостренная необходимость перемещения мониторингового аэрозольного комплекса в фоновый район. Но для того чтобы осуществить безболезненно этот переход (без потери накопленных многолетних сведений об аэрозольной погоде региона), необходимо найти способ передачи длинного ряда в обсерваторию «Фоновая». И здесь основой будут являться данные двухточечных экспериментов, которые мы проводим на протяжении многих лет.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории распространения оптических сигналов ИОА СО РАН, любезно предоставившим спутниковые снимки для выявления влияния лесных пожаров на пункты измерений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-05-00395), проекта № 4.5 ПФИ Президиума РАН «Исследование долговременных изменений компонент воздуха, определяющих изменение радиационных характеристик атмосферы», программы ОНЗ РАН № 12.2.

1. Козлов В.С., Панченко М.В., Яушева Е.П. Временная изменчивость содержания субмикронного аэрозоля и сажи в приземном слое атмосферы Западной Сиби-

- ри // Оптика атмосфер. и океана. 2007. Т. 20, № 12. С. 1082–1085.
2. Козлов В.С., Панченко М.В., Яушева Е.П. Субмикронный аэрозоль и сажа приземного слоя в суточном ходе // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 7. С. 561–569.
 3. Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Карпов А.В., Колесникова А.Б., Байкова Е.С., Задорожная О.С. Недельный цикл загрязнения воздуха в г. Москве: количественные характеристики и уточнение методики статистического прогноза концентраций примесей // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 9. С. 784–792.
 4. Глазкова А.А., Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Семутникова Е.Г. Суточный ход концентрации аэрозоля (PM10) летом в Московском регионе // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 6. С. 495–500.
 5. Reche C., Querol X., Alastuey A., Viana M., Pey J., Moreno T., Rodriguez S., Gonzalez Y., Fernandez-Camacho R., Sanchez de la Campa A.M., de la Rosa J., Dall'Osto M., Prevot A.S.H., Hueglin C., Harrison R.M., Quincey P. Variability of levels of PM, black carbon and particle number concentration in elected European cities // Atmos. Chem. Phys. Discuss. 2011. N 11. P. 8665–8717.
 6. Gorchakov G.I., Isakov A.A., Mokhov I.I., Sviridenkov M.A., Shukurov K.A., Karpov A.V., Chernokulsky A.V. Temporal variability of the near-surface aerosol content from daily observations at IAP scientific station near Moscow during 1991–2002. New Mexico, USA. 2004. URL: http://www.arm.gov/publications/proceedings/conf14/extended_abs/gorchakov-gi.pdf
 7. Man C.K., Shin M.Y. Light scattering and absorption properties of aerosol particles in Hong Kong // J. Aerosol Sci. 2001. V. 32, N 6. P. 795–804.
 8. Holler R., Tohno S., Kasahara M., Hitzemberger R. Long-term characterization of carbonaceous aerosol in Uji, Japan // Atmos. Environ. 2002. V. 36. P. 1267–1275.
 9. Arkouli M., Ulke A.G., Endlicher W., Baumbach G., Schultz E., Vogt U., Müller M., Dawidowski L., Faggi A., Benning U.W., Scheffknecht G. Distribution and temporal behavior of particulate matter over the urban area of Buenos Aires // Atmos. Pollut. Res. 2010. V. 1, N 1. P. 1–8.
 10. Kuhlbusch T.A.J., John A.C., Fissan H. Diurnal variations of aerosol characteristics at a rural measuring site close to the Ruhr-Area, Germany // Atmos. Environ. 2001. V. 35, Suppl. 1. P. 13–21.
 11. Perez N., Pey J., Cusack M., Reche C., Querol X., Alastuey A., Viana M. Variability of Particle Number, Black Carbon, and PM10, PM2.5, and PM1 Levels and Speciation: Influence of Road Traffic Emissions on Urban Air Quality // Aerosol Sci. and Technol. 2010. V. 44, iss. 7. P. 487–499.
 12. Bhugwant C., Bremaud P. Simultaneous Measurements of Black Carbon, PM10, Ozone and NOx Variability at a Locally Polluted Island in the Southern Tropics // J. Atmos. Chem. 2001. V. 39. P. 261–280.
 13. 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.
 14. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д. Исследование дисперсного состава аэрозоля в периоды весенней дымки и лесных пожаров // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 6. С. 468–477.
 15. Ужегова Н.В., Антохин П.Н., Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Фофанов А.В. Выделение антропогенного вклада в изменение температуры, влажности, газового и аэрозольного состава городского воздуха // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 7. С. 589–596.
 16. Ужегова Н.В., Антохин П.Н., Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Фофанов А.В. Исследование суточной динамики характеристик воздуха в г. Томске в холодный период года // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 9. С. 782–789.
 17. Кабанов Д.М., Береснев С.А., Горда С.Ю., Корниенко Г.И., Николашкин С.В., Сакерин С.М., Тащилин 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.
 18. Козлов В.С., Панченко М.В., Яушева Е.П., Польшкин В.В., Терпугова С.А. О влиянии антропогенного фактора на изменчивость коэффициента аэрозольного рассеяния и содержание сажи в приземном слое в весенних условиях // Междунар. симп. стран СНГ «Атмосферная радиация» (МСАР–2): Сб. тезисов. С.-Петербург, 18–21 июня 2002. 2002. С. 58–59.
 19. Климат Томска / Под. ред. С.Д. Кошинского, Л.И. Трифановой, Ц.А. Швер. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 176 с.
 20. Панченко М.В., Польшкин В.В., Терпугова С.А., Тумаков А.Г., Шмаргунов В.П., Яушева Е.П. О формировании среднерегионального аэрозольного фона // Оптика атмосфер. и океана. 1995. Т. 8, № 7. С. 1112–1114. URL: <http://news.vtomske.ru/news/69124.html>
 21. Горчаков Г.И., Емиленко А.С., Свириденков М.А. Однопараметрическая модель приземного аэрозоля // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1981. Т. 17, № 1. С. 39–49.
 22. Hansen A.D.A., Rosen H., Novakov T. The aethalometer – an instrument for the real time measurement of optical absorption by aerosol particles // Sci. Total Environ. 1984. V. 36, N 1. P. 191–196.
 23. Козлов В.С., Шмаргунов В.П., Польшкин В.В. Спектрофотометры для исследования характеристик поглощения света аэрозольными частицами // Приборы и техн. эксперим. 2008. № 5. С. 1–3.
 24. Шмаргунов В.П., Козлов В.С., Тумаков А.Г., Польшкин В.В., Панченко М.В. Автоматизированный аэрозольный нефелометр на базе ФАНа // Приборы и техн. эксперим. 2008. № 5. С. 165.
 25. Панченко М.В., Свириденков М.А., Терпугова С.А., Козлов В.С. Активная спектрофотометрия в исследовании микрофизических характеристик субмикронного аэрозоля // Оптика атмосфер. и океана. 2004. Т. 17, № 5–6. С. 428–436.
 26. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 256 с.
 27. Белан Б.Д., Ковалевский В.К., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н., Рассказчикова Т.М. Структура аэрозольных «шапок» над промышленными центрами // Оптика атмосфер. и океана. 1996. Т. 9, № 6. С. 755–765.
 28. Ландсберг Г.Е. Климат города. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 248 с.
 29. Oke T.R., Fuggle R.F. Comparison of urban/rural counter and net radiation at night // Boundary-Layer Meteorol. 1972. V. 2, N 3. P. 290–308.
 30. Гладких В.А., Макиенко А.Э., Миллер Е.А., Одицов С.Л. Исследование параметров пограничного слоя атмосферы в городских условиях с помощью средств локальной и дистанционной диагностики. Часть 2. Температура воздуха и поток тепла // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 11. С. 987–994.
 31. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосфер. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 751 с.

33. Терпугова С.А., Докукина Т.А., Яушева Е.П., Панченко М.В. Сезонные особенности проявления различных типов гигрограмм коэффициента рассеяния // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 11. С. 952–957.
34. Терпугова С.А., Панченко М.В., Козлов В.С., Яушева Е.П., Польшкин В.В., Чернов Д.Г. Конденсационная активность аэрозоля в Томске и фоновом лесном районе // Естественные и антропогенные аэрозоли. 7-я Междунар. конф.: Тезисы докл. С.-Петербург, 2010. С. 73.
35. Докукина Т.А., Терпугова С.А., Панченко М.В., Яушева Е.П., Козлов В.С. Особенности конденсационной активности аэрозоля в период весеннего максимума // Аэрозоли Сибири. XIII Рабочая группа: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2006. С. 12.
36. Панченко М.В., Терпугова С.А., Козлов В.С., Польшкин В.В., Яушева Е.П. Годовой ход конденсационной активности субмикронного аэрозоля в приземном слое атмосферы Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 8. С. 678–683.

E.P. Yausheva, M.V. Panchenko, V.S. Kozlov, S.A. Terpugova, D.G. Chernov. **The influence of the city on the atmospheric aerosol characteristics in Tomsk Akademgorodok in transitional seasons.**

The influence of the city of Tomsk on the optical characteristics obtained in Akademgorodok in monitoring mode is studied on the basis of two-site experiments carried out at the Aerosol monitoring station IAO SB RAS and in the background region in spring and autumn 2011. Data of previous years are also considered. The peculiarities of temporal dynamics of the mass concentrations of the dry matter of aerosol and black carbon, as well as the parameter of condensation activity in the near-ground layer of the atmosphere are analyzed. It is shown that the influence of the city on the aerosol characteristics in Akademgorodok increases during last years. It is revealed that the excess of average values of the mass concentration of fine aerosol at the Aerosol monitoring station over the concentration values at the “Fonovaya” observatory is by 1.7 times in spring and 1.1 times in autumn. The excess of the concentration of black carbon is by 2.0 and 1.8 times, respectively. Maximum differences in the daily average behaviors at two sites are observed in the period of evening-nighttime maximum of concentrations (up to 3.0 times).