

Сравнение синхронных измерений концентрации сажи и субмикронного аэрозоля в регионах с различной степенью антропогенной нагрузки

А.С. Емиленко, В.М. Копейкин*

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3*

Поступила в редакцию 27.01.2009 г.

Проводится сопоставление результатов совместных измерений массовой концентрации сажевого и субмикронного аэрозоля в приземном слое воздуха как в местах с высокой степенью антропогенной нагрузки: Пекин, Москва, Алма-Ата и Рязань, так и в небольших городах-курортах: Кисловодск, Пятигорск, Ессентуки, Геленджик. Сравниваются результаты измерений в фоновых условиях: в горной обсерватории Синлун, расположенной в 150 км на северо-восток от Пекина, и на Звенигородской научной станции ИФА РАН (60 км на запад от центра Москвы). Также представлены результаты маршрутных измерений в регионе Кавказских Минеральных Вод. Все измерения проводились по единой методике оптическими методами, что позволило обобщить полученные результаты и выявить общие закономерности и различия. Величина, характеризующая относительное содержание массы сажи в массе субмикронного аэрозоля, позволяет выделить роль локальных и региональных источников и проследить гетерогенные процессы трансформации аэрозоля.

Ключевые слова: атмосфера, сажевый и субмикронный аэрозоль, радиационные эффекты аэрозоля в атмосфере.

Введение

Одним из основных факторов, определяющих радиационные эффекты аэрозоля в атмосфере, является альbedo однократного рассеяния, которое характеризует вклад рассеяния в суммарное ослабление излучения. Эта характеристика тесно связана с относительным содержанием поглощающего вещества в тонкодисперсной фракции аэрозоля. В работе [1] выявлена устойчивая закономерность более низкого, по сравнению с фоновым аэрозолем, относительного содержания сажи в дымах удаленных лесных пожаров (1–4,5%), приводящая к уменьшению его значений при вторжении дымовой мглы в район измерений. В [2] проанализированы междугодовая и сезонная изменчивость относительного содержания сажи $P = M_{\text{сажи}}/M_{\text{сбм}}$ в приземном слое воздуха в регионе Западной Сибири на основе регулярных измерений в 1997–2006 гг.

Частично величина, обратная параметру P ($M_{\text{сбм}}/M_{\text{сажи}}$), рассматривалась в работах [3–6] на основе имевшихся к тому времени синхронных измерений концентраций сажи и аэрозоля (с 1987 по 2000 г.). Однако в этих работах основное внимание уделялось описанию временной и пространственной изменчивости концентраций сажи и оптических ха-

рактеристик субмикронного аэрозоля, а исследованиям вариаций параметра P уделялось меньше внимания. С 2000 г. банк данных синхронных измерений сажи и тонкодисперсного аэрозоля, выполненных сотрудниками ИФА РАН в различных регионах, существенно пополнился и послужил основой для исследований изменчивости относительного содержания сажи в субмикронном аэрозоле, выполненных в приземном слое воздуха как в местах с высокой степенью антропогенной нагрузки: Пекин, Москва, Алма-Ата и Рязань, так и в небольших городах-курортах: Кисловодск, Пятигорск, Ессентуки, Геленджик. С целью оценки вклада антропогенных факторов в загрязнение атмосферы различных масштабов сопоставляются результаты синхронных измерений непосредственно в городах и в фоновых условиях. Для Пекина таким пунктом была выбрана горная астрономическая обсерватория АН Китая, расположенная в 150 км на северо-восток от Пекина на высоте 950 м над уровнем моря. Для Москвы таким пунктом послужила Звенигородская научная станция Института физики атмосферы им. А.М. Обухова, расположенная в 60 км на северо-запад от центра Москвы.

Методика измерений

Все измерения концентрации сажи проводились по единой методике сбора аэрозольных проб на

* Александр Сергеевич Емиленко; Владимир Михайлович Копейкин (ifa@rambler.ru).

Таблица 1

Осредненные за цикл синхронных круглосуточных измерений значения концентраций субмикронного аэрозоля и сажи, а также коэффициент корреляции между этими величинами и относительное содержание сажи

Место и время измерений	$M_{сбм}$, мкг/м ³	$M_{сажи}$, мкг/м ³	Коэффициент корреляции	$M_{сажи}/M_{сбм}$
Кисловодск, лето 1987	49	1,2	0,27	0,024
Алма-Ата, ноябрь 1987	111	10,9	0,20	0,085
Кисловодск, зима 1989	67	1,49	0,73	0,017
Москва, июнь 1990	32	3,97	0,58	0,1
Москва, февраль 1991	126	7,13	0,73	0,054
Москва, октябрь 1993	37	3,46	0,69	0,088
Кисловодск, апрель 2000	26,7	1,04	0,7	0,039
Москва, декабрь 2002	54	3,03	0,86	0,056
Звенигород, май–июнь 2004	23,2	0,93	0,5	0,04
Москва, май–июнь 2004	29,2	1,65	0,65	0,056
Москва, май–июнь 2005	34,6	1,72	0,73	0,05
Рязань, май–июнь 2005	38	2,86	0,90	0,076
Пятигорск, ноябрь 2005	21,5	1,80	0,77	0,084
Геленджик, июль 2006	27,1	2,64	0,77	0,097

Таблица 2

Осредненные за период измерений значения концентраций субмикронного и сажевого аэрозоля, коэффициента корреляции между этими компонентами, а также их отношения $M_{сажи}/M_{сбм}$ для региона г. Пекин

Место и время измерений	$M_{сбм}$, мкг/м ³	$M_{сажи}$, мкг/м ³	Коэффициент корреляции	$M_{сажи}/M_{сбм}$
Пекин, ноябрь 1996	238	23,4	0,91	0,098
Пекин, ноябрь 1997	289	28,4	0,89	0,098
Пекин, ноябрь 1998	292	30	0,92	0,103
Пекин, июль 1999	153	11,5	0,78	0,075
Пекин, ноябрь 2000	188	15,6	0,91	0,083
Пекин, ноябрь 2001	218	16,2	0,89	0,074
Пекин, ноябрь 2002	213	14,4	0,93	0,068
Пекин, ноябрь 2003	209	13,4	0,95	0,064
Пекин, ноябрь 2004	288	15,4	0,92	0,053
Пекин, август 2005	233	12,2	0,8	0,052
Синлун, ноябрь 2003	100,4	5,05	0,95	0,050
Синлун, ноябрь 2004	111,6	4,9	0,94	0,044
Синлун, август 2005	111,3	2,55	0,95	0,034

кварцевые волоконные фильтры с последующим измерением поглощения света аэрозольными пробами. При этом использовались автоматические пробоотборники и модернизированные измерители содержания сажи конструкции ЛОМА ИФА РАН. Начиная с 2004 г. наблюдения также ведутся с помощью измерителя массовой концентрации сажи (Aethalometer™ AE-16 производства фирмы «Magee Scientific», Германия) с дискретностью 5 мин.

Измерения вариаций концентрации тонкодисперсного аэрозоля осуществлялись нефелометрами ФАН, а также нефелометрами конструкции ЛОМА ИФА РАН. Перед и после циклов измерений все нефелометры проходили совместную интеркалибровку. Проводились также совместные интеркалибровки в 2002, 2003 и 2006 гг. в Томске с прибором ФАН Института оптики атмосферы СО РАН, который дополнительно к заводской калибровке был прокалиброван по различным газам, а также в условиях чистого воздуха на различных высотах во время полетных измерений.

Результаты измерений

Для исследования отобраны результаты измерений, полученные в различные годы, в различных регионах и в различные сезоны. При этом использовались два типа измерений:

1. Измерения, выполненные в виде цикла круглосуточных синхронных измерений концентрации сажи и субмикронного аэрозоля, продолжительностью, как правило, около месяца (26–35 дней) в стационарном пункте в приземном слое воздуха. Продолжительность измерений в Геленджике и в горной обсерватории Синлун составляла 15 сут. В табл. 1 и 2 представлены пункты измерений, год, сезон, а также осредненные за период измерений характеристики аэрозоля.

2. Маршрутные измерения, которые проводились в регионе Кавказских Минеральных Вод с 13 по 25 апреля 2000 г. с помощью специально оборудованной измерительной передвижной лаборатории. Было обследовано 29 пунктов в гг. Кисловодске, Пятигорске, Ессентуках, Железноводске, Лермонтове, Минеральных Водах, Иноземцеве, Георгиевске и Новопавловске. Измерения выполнялись круглосуточно. В каждом пункте измерения проводились, как правило, по три раза в сутки в разное время дня в течение 20–40 мин. Пункты были выбраны вблизи или непосредственно на участках дорог с интенсивным автомобильным движением, а также для сопоставления вдали от источников загрязнения в парковых зонах [6]. Полученный объем информации позволил рассмотреть значения параметра P для условий от очень чистого воздуха до сильно загрязненного. Кроме того, выборочно использовались результаты маршрутных измерений, выполненных с помощью вагона-лаборатории в экспедициях ТРОИСА вдоль Транссибирской магистрали, и измерений на участке кольцевой железной дороги вокруг г. Москвы.

Обсуждение результатов

Осредненные за цикл измерений результаты, полученные в стационарных пунктах в различных географических районах в период с 1987 по 2006 г., собраны в табл. 1. Как видно, для представленных пунктов измерений минимальные значения осредненного параметра $P = M_{\text{сажи}}/M_{\text{сбм}}$ наблюдались в Кисловодске зимой 1989 г. ($P = 0,017$) и летом 1987 г. ($0,024$).

Наиболее высокие значения параметра P наблюдались в Москве в июне 1990 г. ($0,1$) и октябре 1993 г., в Алма-Ате в ноябре 1987 г. ($0,085$), а также в июле 2006 г. в Геленджике ($0,097$) и в ноябре 2005 в Пятигорске ($0,084$). В мае–июне 2004 г. были выполнены синхронные измерения в здании ИФА в Москве и на Звенигородской научной станции. В фоновой точке параметр P меньше в 1,4 раза. В мае–июне 2005 г. были проведены синхронные измерения в Москве и Рязани, удаленной от Москвы на 200 км на юго-восток. Параметр P выше в Рязани в 1,5 раза. При этом во всех рассмотренных случаях измерений 2004 и 2005 гг. концентрации субмикронного аэрозоля низкие и в среднем мало отличаются друг от друга.

На рис. 1 представлена временная развертка вариаций концентрации сухой основы тонкодисперсной фракции аэрозоля и относительного содержания сажи для всего периода измерений в Голубой Бухте г. Геленджика со скважностью в 1 ч.

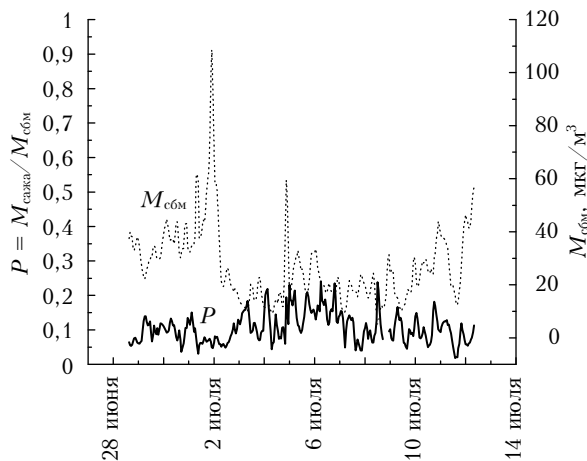


Рис. 1. Сопоставление временной изменчивости массовой концентрации тонкодисперсного аэрозоля и относительного содержания сажи по данным измерений в акватории Голубой Бухты г. Геленджика с 28 июня по 12 июля 2006 г.

Относительное содержание сажи варьирует в пределах от $P_{\min} = 0,018$ до $P_{\max} = 0,24$, при этом 1 июля в 22:00 максимальное значение $M_{\text{сбм}} = 108,6$ мкг/м³ ($P = 0,05$) и 4 июля в 21:00 оно составляет 59,4 мкг/м³ ($P = 0,19$). В промежутке между этими значениями наблюдается минимум субмикронного аэрозоля, связанный с действиями сильного ветра с гор (бора). Максимум 1 июля связан с приходом воздушной массы перед борой, а максимум 4 июля

с действием локальных источников (небольших дизельных судов на причале в середине Голубой Бухты в период затишья после боры). Минимальное значение P наблюдалось 11 июля с 13:00 до 17:00, когда ветер был с моря и значения $M_{\text{сбм}}$ были в пределах 12–18 мкг/м³. Повышенное содержание сажи в акватории объясняется наличием причала и постоянным присутствием 4–6 небольших судов с работающими дизельными двигателями.

Корреляция нефелометрических данных с результатами анализа проб на сажу примерно такая же, как для других курортных районов, однако относительное содержание сажи существенно больше, что обусловлено вкладом локальных источников в условиях плохого перемешивания атмосферы в утренние и вечерние часы.

В целом, можно утверждать, что, несмотря на существенное загрязнение акватории локальными источниками, уровень концентрации аэрозоля соответствует требованиям курортного района и был превышен только с 20:00 до 24:00 ч 1 июля, причем здесь основную роль играли источники регионального масштаба, поскольку относительное содержание сажи было невелико. Это было фронтальное повышение концентрации субмикронного аэрозоля, которое резко упало 2 июля в связи с приходом боры и до 4 июля концентрации субмикронного аэрозоля были близки к фоновым. Таким образом, отчетливо просматривается роль локальных источников акватории Голубой Бухты в повышенных значениях параметра P относительно других курортных и фоновых районов.

Результаты маршрутных измерений, выполненных в апреле 2000 г. в регионе Кавказских Минеральных Вод, подтверждают вывод, что только вблизи локальных источников выхлопных газов двигателей параметр P превышает 0,15. Для той части маршрутных измерений, которые были проведены непосредственно вблизи оживленных перекрестков гг. Пятигорска, Кисловодска, Георгиевска и Иноземцово, параметр P превышал 0,2, а в некоторых случаях, как, например, 25 апреля, в период с 16:42 до 17:08 $M_{\text{сбм}} = 51$ мкг/м³ и $P = 0,52$. Аналогичные результаты получены в период измерений на участке кольцевой железной дороги вокруг г. Москвы. Так, например, 4 октября в период с 21:20 до 21:24 на ст. Бекасово непосредственно вблизи маневровых тепловозов были зафиксированы $M_{\text{сбм}} = 14,7$ мкг/м³ и $P = 0,7$, а 7 октября с 1:04 до 1:09 $M_{\text{сбм}} = 31,1$ мкг/м³, и $P = 0,46$.

Во время маршрутных измерений с аппаратурой, установленной на автомобиле, в регионе Кавказских Минеральных Вод минимальные значения параметра P были зафиксированы в курортных районах вдаль от локальных источников аэрозоля. Так, например, в период циклов измерений в курортном парке г. Кисловодска возле санатория «Пикет» 22 апреля с 6:25 до 7:45 при $M_{\text{сбм}} = 11,3$ мкг/м³ $P = 0,014$.

Во время маршрутных измерений, выполненных с использованием вагона-лаборатории в экспедициях TROICA вдоль Транссибирской магистрали, значения параметра P были наиболее низкими осенью

2005 и в августе 2007 г. за счет дымов торфяных пожаров в европейской части России и горящей травы вдоль азиатской части трассы железной дороги. Так, например, 4–5 октября 2005 г. при западном переносе воздушных масс на трассе Москва–Владивосток от 0 до 1800 км параметр $P = 0,03 \pm 0,04$ при изменениях $M_{сбм}$ в пределах 50–110 мкг/м³. А 9 октября 2005 г. на участке трассы 6831–6927 км при вариациях $M_{сбм}$ в диапазоне 150–510 мкг/м³ параметр P менялся от 0,01 до 0,015. При возвращении из Владивостока в Москву 15 октября 2005 г. на трассе между 3412 и 3352 км параметр P находился в пределах 0,008–0,02 при концентрации $M_{сбм}$ в районе 800 мкг/м³. Первого августа 2007 г. на трассе между 6010 и 5830 км при вариациях концентрации субмикронного аэрозоля в пределах 140–420 мкг/м³ параметр P изменялся от 0,03 до 0,027.

В табл. 2 собраны результаты десятилетних измерений концентрации сажи и субмикронного аэрозоля в регионе г. Пекин, выполненные, в основном, в осеннее время в октябре–ноябре. Для сравнения приводятся также результаты измерений в летние месяцы 1999 и 2005 г. Для Пекина корреляция нефелометрических данных с результатами анализа проб на сажу существенно выше, чем для Москвы и Кисловодска (см. табл. 1).

На рис. 2, а изображены суточные ходы отношения масс сажевого и субмикронного аэрозоля для осенних данных 1996–1998 и 2000–2004 гг. Аналогично, на рис. 2, б представлены значения $M_{сажи}/M_{сбм}$ для июля 1999 и августа 2005 г.

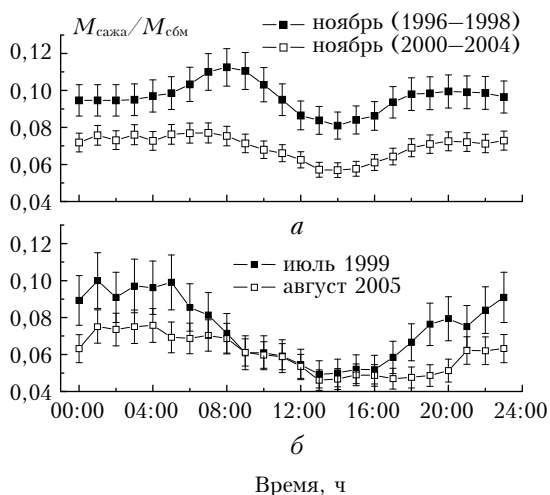


Рис. 2. Сравнение средних суточных ходов относительного содержания сажи в аэрозоле для осенних (а) и летних измерений (б) в г. Пекине: а — данные, осредненные за три месячных цикла измерений 1996–1998 гг. в сравнении с данными измерений, осредненных за 5 месячных циклов 2000–2004 гг.; б — данные измерений с 22 июня по 16 июля 1999 г. и данные измерений со 2 по 26 августа 2005 г. Вертикальными отрезками отмечены доверительные интервалы с доверительной вероятностью 0,95

Во всех случаях отчетливо наблюдается дневной минимум, причем если для осенних данных превышение максимума над минимумом составляет примерно 1,5 раза, то для летних данных 1999 г.

это превышение существенно больше. Прежде всего, такое различие в летних и осенних данных объясняет более низкую корреляцию летних результатов для сажи и аэрозоля (корреляция существенно ниже $\rho = 0,78$, чем осенью). Кроме того, отчетливо наблюдаются существенно более низкие значения параметра P для измерений 2000–2005 гг. по сравнению с измерениями 1996–1999 гг. В работе [4], появившейся в печати до того, как были проведены измерения в Пекине летом 1999 г. [5, 6], делается предположение, что ответственность за понижение относительного содержания сажи в дневное время несут фотохимические процессы. Летние результаты подтверждают этот вывод. Анализ отдельных конкретных реализаций показал, что понижение параметра P в дневное время происходит одновременно с резким возрастанием концентрации озона.

На рис. 3 представлены результаты синхронных измерений величины, обратной параметру P ($M_{сбм}/M_{сажи}$) в двух пунктах: в Пекине и на фоновой станции ИФА АН Китая (гора Синлун, 150 км северо-восточнее г. Пекина на высоте 960 м над уровнем моря).

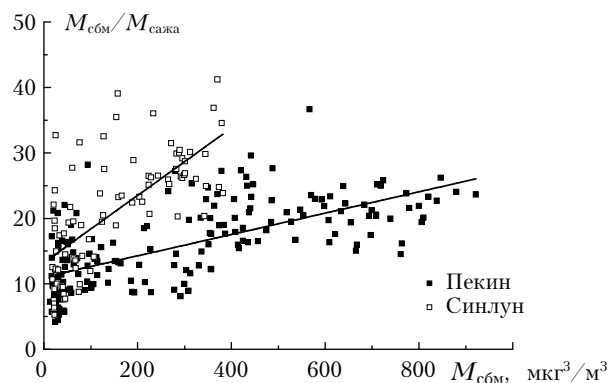


Рис. 3. Корреляционные связи относительного содержания сажи в аэрозоле в Пекине и Горной астрономической обсерватории АН Китая на горе Синлун по данным измерений 28 октября – 12 ноября 2004 г.

Важно было выявить вклад городских, региональных и природных источников в загрязнение атмосферы мегаполиса. Поэтому особое внимание было уделено исследованию влияния региональных факторов на состояние качества воздуха. Синхронные измерения концентрации субмикронного аэрозоля, проведенные на фоновой региональной станции ИФА АН Китая, показали хорошую корреляцию не только уровней загрязнения с городом (как для сажи, так и тонкодисперсного аэрозоля), но и относительного содержания сажи в аэрозоле. Когда в Пекине смог, то и в 150 км от него, в горной местности, тоже смог. При этом относительное содержание сажи в аэрозоле минимально как в Пекине, так и в 150 км от него.

На рис. 4 проводится сопоставление регрессионных связей между массовой концентрацией субмикронного аэрозоля и отношением масс аэрозоля и сажи для Пекина и горной обсерватории Синлун по данным измерений в ноябре 2004 г.

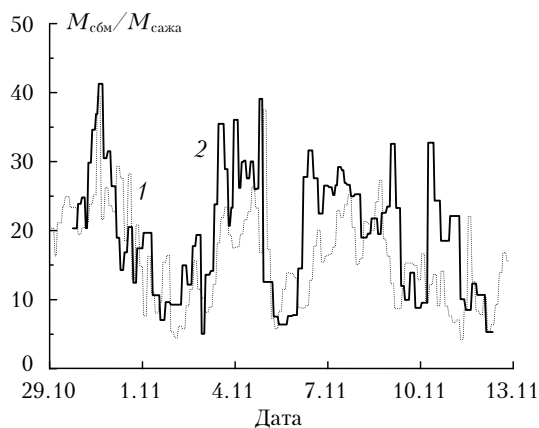


Рис. 4. Сравнение временных изменчивостей отношения концентраций массового содержания субмикронного аэрозоля и сажи в г. Пекине (1) и на горе Синлун (2) по данным измерений 28 октября – 12 ноября 2004 г.

Иллюстрируется типичная для многих регионов [3] корреляционная зависимость относительного содержания сажи от концентрации субмикронного аэрозоля. (Для наглядности представлена величина, обратная параметру $P = M_{сбм}/M_{сажи}$). Видно, что относительное содержание сажи уменьшается при увеличении концентрации субмикронного аэрозоля, особенно это заметно для горной обсерватории Синлун, удаленной от мощных локальных источников аэрозоля, что указывает на доминирование процессов гетерогенной конденсации над процессами коагуляции и осаждения. Максимальное значение параметра P зафиксировано в период синхронных измерений 2004 г. в Пекине: $P_{max} = 0,24$ при $M_{сбм} = 24 \text{ мкг/м}^3$, а минимальное $P_{min} = 0,027$ при $M_{сбм} = 570 \text{ мкг/м}^3$. В пункте Синлун $P_{max} = 0,19$ при $M_{сбм} = 9 \text{ мкг/м}^3$, а $P_{min} = 0,02$ при $M_{сбм} = 350 \text{ мкг/м}^3$.

За период с 1996 по 1998 г. в Пекине существенно увеличился уровень аэрозольного загрязнения, при этом относительное содержание сажи в среднем практически не изменилось. С 2000 г. произошли существенные изменения в межгодовой изменчивости относительного содержания сажи (см. табл. 2).

Смоги Пекина – это более трети всех состояний воздушного бассейна города, они мелкодисперсны, основной размер частиц находится в пределах 0,2–0,4 мкм. Они хорошо аппроксимируются одномодальным логнормальным распределением. Наблюдается очень хорошая корреляция в смогах концентраций субмикронного аэрозоля, сажи, угарного газа и двуокси углерода. Наиболее часто смоги повторялись в 1998 г. Наименьшее количество смогов было в 2002 г., в последние годы количество смогов в осенний период увеличилось, но не превысило значений, характерных для 1996–1999 гг. Летние смоги, так же как и осенние, характеризуются небольшим относительным содержанием концентрации сажи в аэрозоле ($P < 0,03$) и существенно меньшей корреляцией между концентрациями сажи и аэрозоля, что обусловлено большим вкладом фотохимических процессов в образование смога (см. табл. 2).

Сопоставление результатов измерений массовой концентрации сажевого аэрозоля в воздушном бассейне Пекина и в задымленной атмосфере Москвы [7] показало, что при одинаково высоких уровнях концентрации субмикронного аэрозоля массовая концентрация сажевого аэрозоля в Пекине существенно больше, чем в задымленной атмосфере Москвы во время пожаров торфяников.

Заключение

Таким образом, на основе анализа результатов измерений в регионах с различной степенью антропогенной нагрузки можно сделать следующие выводы. Высокие значения относительного содержания сажи в аэрозоле $P > 0,2$ могут наблюдаться только при основном вкладе в содержание сажи локальных городских источников, в основном транспорта и котельных, непосредственно расположенных вблизи пункта наблюдения. При этом масса субмикронного аэрозоля находится в диапазоне $5 < M_{сбм} < 30 \text{ мкг}^3$. Суммарное воздействие локальных и региональных источников сажи крупного города приводит к значениям относительного содержания сажи в аэрозоле в диапазоне 0,07–0,15. При этом концентрации субмикронного аэрозоля находятся, в основном, в диапазоне $30 < M_{сбм} < 60 \text{ мкг}^3$. Очень низкие значения параметра $P < 0,025$ при низких концентрациях аэрозоля ($5 < M_{сбм} < 20 \text{ мкг}^3$) характерны для фоновое аэрозоля. Низкие значения параметра $P < 0,03$ при высоких значениях концентрации аэрозоля ($M_{сбм} > 100 \text{ мкг}^3$) характерны для удаленных источников загрязнения регионального и глобального масштабов, в тех случаях, когда влияние локальных источников мало.

В уровнях загрязнения Пекина с 2000 по 2004 г. произошли не только количественные, но и качественные изменения. Если с 1996 по 1999 г. средний уровень загрязнения возрастал, а параметр P практически не менялся, то с 2000 г. наблюдается тенденция уменьшения параметра P , что указывает на увеличение вклада в загрязнение более удаленных источников аэрозоля.

Сопоставление уровней загрязнения в Пекине и горной обсерватории Синлун позволяет сделать вывод, что смоговые состояния атмосферы носят региональный характер. Высокие уровни загрязнения аэрозолем сопоставимы в Москве и Пекине только в период пожаров в центральной части России, когда причиной высоких уровней загрязнения являются региональные источники аэрозоля. В Пекине высокие уровни загрязнения в виде смогов составляют более трети всех состояний атмосферы. Они распространяются на обширную территорию размерами не менее 300 км, что возможно только при наличии в окрестности Пекина мощных источников аэрозоля. В 2000 г., в связи с подготовкой к Олимпиаде, в Пекине убрали мелкие котельные и жаровни, работающие на угле, и перешли на газовое отопление. Однако бурный рост городов в юго-восточной окрестности Пекина привел к увеличению мощности региональных источников аэрозоля

в 2003–2005 гг., что отразилось на уменьшении относительного содержания сажи при одновременном росте массовой концентрации тонкодисперсного аэрозоля.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (гранты № 07-05-00860-а и 05-05-39012-ГФЕН_а).

1. Козлов В.С., Панченко М.В., Яушева Е.П. Относительное содержание сажи в субмикронном аэрозоле как индикатор влияния дымов удаленных лесных пожаров // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19. № 6. С. 484–491.
2. Козлов В.С., Панченко М.В., Яушева Е.П. Временная изменчивость содержания субмикронного аэрозоля и сажи в приземном слое атмосферы Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20. № 12. С. 1082–1085.
3. Емиленко А.С., Копейкин В.М., Ван Ген Чен. Вариации содержания сажи и субмикронного аэрозоля в городе // Физика атмосферного аэрозоля: Междунар. конф. Москва, 12–17 апреля 1999 г.: Сб. трудов. М.: Диалог-МГУ, 1999. С. 160–169.
4. Емиленко А.С., Копейкин В.М., Ван Ген Чен. Особенности летних уровней загрязнения сажей и субмикронным аэрозолем в г. Пекине // Вторая Междунар. конф. «Естественные и антропогенные аэрозоли»: Сб. трудов конф. 27 сентября – 1 октября 1999 г. СПб., 1999. С. 134–135.
5. Емиленко А.С., Копейкин В.М., Ван Ген Чен. Некоторые сезонные особенности уровней загрязнения аэрозолем в г. Пекине // Междунар. аэрозольная конф., посвященная памяти профессора А.Г. Сутугина. Москва, 26–30 июня 2000 г.: Тр. конф. М.: РИЦ МГИУ, 2000. С. 48–56.
6. Belikov I.B., Granberg I.G., Dobryshman E.M., D'yachkov A.F., Emilenko A.S., Kopeikin V.M., Fokeeva E.V. En-Route Measurements of Atmospheric Pollution in the Region of Caucasus Mineral Waters // Izvestia. Atmos. and Oceanic Phys. 2001. V. 37. Suppl. 1. P. S102–S109.
7. Горчаков Г.И., Аникин П.П., Волох А.А., Емиленко А.С., Исаков А.А., Копейкин В.М., Пономарева Т.Я., Семутникова Е.Г., Свириденков М.А., Шукуров К.А. Исследование состава задымленной атмосферы г. Москвы во время пожаров торфяников летом–осенью 2002 г. // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2004. Т. 40. № 3. С. 366–380.

A.S. Emilenko, V.M. Kopeikin. Combined data comparison of mass concentrations of submicron aerosol and soot in regions with different levels of anthropogenic load.

We carried out combined data comparison of mass concentrations of submicron aerosol and soot in near-ground air layer as in points with the high anthropogenic load: Beijing, Moscow, Alma-Ata, and Ryazan, as well as in small resort towns: Kislovodsk, Pyatigorsk, Yessentuki, Gelendzhik. Furthermore, we examined measurements in background conditions: Xinglong mountain observatory, located at a distance of 150 km to the north-east from the Beijing and Zvenigorod Scientific Station of IAP RAS (60 km to the west from the center of Moscow). On-route Measurements in the region of Caucasus Mineral Waters are also presented. All measurements were carried out by the same optical methods, which permits one to summarize submitted data and bring to light common regularity and differences. The magnitude of relative content of soot in aerosol particles allows one to distinguish contribution of local and regional sources of air pollution, to discern the aerosol heterogeneous transformation processes.