

Ван Ген Чен, Е.И. Гречко, А.С. Емиленко,
В.М. Копейкин, Е.В. Фокеева

Результаты совместных измерений окиси углерода в толще атмосферы и субмикронного аэрозоля в приземном слое в Пекине

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва
ИФА АН Китая, г. Пекин*

Поступила в редакцию 13.09.2002 г.

Представлены данные круглосуточных измерений приземной концентрации субмикронного аэрозоля и сажи, а также данные содержания окиси углерода в слое загрязненного городом воздуха, проведенных в северной части г. Пекин в осенние периоды 1992, 1996–2001 гг., а также летом 1999 г. Для Пекина характерны очень высокие корреляционные связи между приземными концентрациями сажи и субмикронного аэрозоля ($\rho = 0,9$ для осенних сезонов 1992, 1996–2001 гг. и $0,8$ для лета 1999 г.). Также высокие корреляционные связи получены для логарифмов городской доли СО в толще атмосферы и приземной концентрации субмикронного аэрозоля (среднедневные значения). Высокие среднемесячные значения приземных концентраций получаются за счет экстремально высоких концентраций, значительно превышающих предельно допустимые в дни с низкими скоростями ветра южного направления и температурными инверсиями в нижнем 300-м слое. С 1992 по 1999 г. в Пекине наблюдался существенный рост концентрации сажи и аэрозоля, среднемесячные значения концентраций этих компонент возросли почти в два раза. В 2000 г. в результате перехода основных источников эмиссии сажи и аэрозоля с угля на газ произошло резкое уменьшение (в 1,5 раза) содержания сажи и субмикронного аэрозоля в приземном слое Пекина. Городская доля угарного газа в толще атмосферы значительных изменений не претерпела. Проведено сопоставление результатов измерений в Пекине и Москве.

В Москве с начала 80-х гг. проводятся систематические исследования загрязнения атмосферы аэрозольными и газовыми веществами, при этом также проводятся сопутствующие измерения метеопараметров пограничного слоя с помощью акустического метода. В результате был получен большой экспериментальный материал характеристик загрязнения приземного воздуха одного из крупнейших городов мира – Москвы [1–5]. С начала 90-х гг. ИФА РАН совместно с ИФА АН Китая приступили к систематическому исследованию загрязнения атмосферы другого крупного мегаполиса – Пекина с иной структурой выбросов антропогенного происхождения и другими климатическими условиями.

Осенью 1992, 1996–2001 гг. и летом 1999 г. в Пекине были проведены измерения содержания окиси углерода во всей толще атмосферы спектральным методом зондирования по солнцу, а также локальные измерения концентрации субмикронного и сажевого аэрозоля в приземном слое совместно сотрудниками ИФА РАН и ИФА АН Китая. Приборы, идентичные тем, которые используются в комплексных измерениях в Москве, размещались на специально оборудованной крыше здания на высоте 40 м от поверхности земли в северной части Пекина недалеко (0,5 км) от Олимпийского спортивного комплекса.

Полное содержание окиси углерода в толще атмосферы определялось по поглощению солнечного излучения в ИК-области спектра. Использовалась спектро-

метрическая установка, состоящая из спектрометра с дифракционной решеткой 300 штр./мм (разрешение $0,2 \text{ см}^{-1}$ в рабочей области $2452\text{--}2462 \text{ см}^{-1}$), системы слежения за солнцем и усилительно-регистрающей системы. Содержание СО определялось по поглощению в линии $R(3)$ ($2158,30 \text{ см}^{-1}$) фундаментальной полосы СО [6–8]. Следует отметить, что в период измерений, в октябре–ноябре, в Пекине обычно стоит сухая солнечная погода, благоприятная для спектроскопических измерений по солнцу. Повторяемость солнечных дней в это время составляет 70–80%, полное содержание водяного пара от 0,25 до 1 г/см^2 .

Для определения массовой концентрации субмикронного аэрозоля использовался фотоэлектрический фотометр ФАН-А. Проводились измерения сухой основы аэрозоля в двух режимах.

1) Непрерывные круглосуточные измерения на одной длине волны облучающего света $\lambda = 0,53 \text{ мкм}$ коэффициента направленного светорассеяния под углом рассеяния 45° с регистрацией на ЭВМ с интервалами 20 с.

2) Регулярно, примерно 10–20 раз в сутки, проводились последовательно измерения на трех длинах волн – 0,42; 0,52 и 0,62 мкм под углом рассеяния 45° и на одной длине волны $\lambda = 0,52 \text{ мкм}$ коэффициента направленного светорассеяния I (90°) и степени линейной поляризации P (90°) под углом рассеяния 90° (время измерений 2–3 мин). Регулярно (два раза в сутки) проводились калибровки нефелометра по чистому воздуху и по калибровочной призме.

Содержание сажи определялось методом отбора проб на кварцевые волокнистые фильтры с последующим анализом полученных проб оптическим методом. Время пробоотбора подбиралось эмпирически, исходя из требований получения достаточного уровня почернения фильтра, не выходящего за пределы линейности измерительной системы. При этом, чтобы исключить ошибки при определении скорости прососа воздуха ротаметром, было решено проводить измерения при фиксированной скорости расхода воздуха, оптимально выбранной и равной 3 л/мин в осенние периоды измерений и 5 л/мин летом 1999 г. Длительность сбора каждой отдельной пробы колебалась в зависимости от уровня загрязнения атмосферы от 120 до 40 мин. Измерения проводились круглосуточно, как и нефелометрические. Кроме этого в 1996 г. в период с 1 по 6 ноября с интервалами 0,5 ч проводились круглосуточные измерения концентрации частиц счетчиком (каналы 0,3; 0,5; 0,7; 1; 2 и 5 мкм). В 1997–2001 гг. также проводился сбор проб для определения массовой концентрации аэрозоля методом взвешивания [10]. Профили температуры, влажности, скорости и направления ветра обеспечивались до высот 300 м с помощью метеорологической вышки, расположенной в 400 м от точки наблюдения.

Для Пекина оказалось характерным наличие более тесных корреляционных связей с другими локально измеряемыми малыми газовыми и аэрозольными примесями, по сравнению с другими исследованными нами регионами: Москва, Алма-Ата, Кисловодск [11, 12]. Для Пекина корреляция нефелометрических данных с результатами анализа проб на сажу существенно выше, чем для Москвы и Кисловодска (таблица). Аналогично, при сопоставлении результатов синхронных измерений со счетчиком концентрации частиц [10] коэффициент корреляции для Пекина $\rho = 0,94$, в то время, как по данным измерений в Алма-Ате, Москве и Кисловодске $\rho \approx 0,8$.

Анализ вариаций распределения частиц по спектру размеров показал, что в Пекине на высоте 12-этажного здания основной вклад в объем вносят частицы субмикронного диапазона, причем при увеличении концентрации частиц увеличивается радиус частиц, дающих максимальный вклад в объем.

В работе [10] представлены результаты сопоставления синхронных измерений нефелометром, проинтегрированные за период сбора проб с результатами весового анализа по данным 1997–1999 гг. Наблюдается тесная корреляция, т.е. в условиях крупного мегаполиса справедливы выводы о линейной зависимости коэффициента рассеяния с объемной и массовой концентрацией субмикронного аэрозоля [13, 14]. Синхронно с нефелометрическими измерениями проводились измерения концентрации сажи, которые показали, что вклад поглощающего аэрозоля в общую массу может достигать нескольких десятков процентов, что требует при интерпретации данных нефелометрических измерений учета влияния мнимой части комплексного показателя преломления на вид рассматриваемых оптических характеристик.

Результаты статистической обработки выполненных в Пекине нефелометрических измерений хорошо согласуются с однопараметрическим представлением о зависимости вида компонент матрицы рассеяния от уровня рассеяния под углом 45° [13]. Анализ полученного материала показал, что наблюдается очень тесная корреляция между коэффициентами направленного светорассеяния для угла рассеяния 45° для различных длин волн ($\rho = 0,99$), а также между углами 90° и 45° для коэффициента направленного светорассеяния ($\rho = 0,97$). Степень линейной поляризации под углом 90° закономерно уменьшается с увеличением уровня рассеяния, что указывает на увеличение эффективного размера частиц с увеличением уровня загрязнения [10]. Поэтому для расчетов массовой концентрации субмикронного аэрозоля можно использовать соотношение, предложенное в работе [12]: $V \cdot 10^{-10} = 2,2 \cdot \sigma_{сбм}$. Здесь V – фактор заполнения субмикронным аэрозолем пространства (объемная концентрация аэрозоля), $\sigma_{сбм}$ – коэффициент рассеяния сухой основой субмикронного аэрозоля, км^{-1} . Тогда массовая концентрация субмикронного аэрозоля $M_{сбм} = \zeta \cdot V$, где ζ – плотность аэрозольных частиц. Как и в других регионах, нами было принято $\zeta = 1,5 \text{ г/см}^3$.

Вместе с тем детальная интерпретация отдельных проявлений трансформации характеристик микроструктуры по данным оптических измерений затруднена, поскольку для Пекина характерны высокочастотные

Осредненные за период измерений значения концентраций субмикронного ($M_{сбм}$) и сажевого ($M_{сажа}$) аэрозоля, их отношения $M_{сбм}/M_{сажа}$, а также коэффициента корреляции между ними ρ

Место и время измерений	$M_{сбм}$, мкг/м ³	$M_{сажа}$, мкг/м ³	ρ	$M_{сбм}/M_{сажа}$
Кисловодск, лето 1987	49	1,2	0,27	41
зима 1989	67	1,49	0,73	57,3
Алма-Ата, ноябрь 1987	111	10,9	0,20	11,8
Москва, июнь 1990	32	3,97	0,58	9,96
февраль 1991	126	7,13	0,73	18,5
октябрь 1993	37	3,46	0,69	11,3
Пекин, ноябрь 1996	238	23,4	0,91	10,2
ноябрь 1997	289	28,4	0,89	10,2
ноябрь 1998	292	30	0,92	9,7
июль 1999	153	11,5	0,78	13,3
ноябрь 2000	188	15,6	0,91	12,1
ноябрь 2001	218	16,2	0,89	13,5

флуктуации уровней загрязнения, которые могут составлять 10–50% от среднего уровня, что при последовательном переключении каналов существенно искажает конкретные значения спектральных зависимостей коэффициента направленного светорассеяния и степени линейной поляризации.

Измерения в 1992, 1996–2001 гг. велись в объеме, достаточном, чтобы получить средний суточный ход как для массового содержания субмикронного аэрозоля, так и для концентрации сажи. На рис. 1 изображены средние суточные хода для Пекина и Москвы,

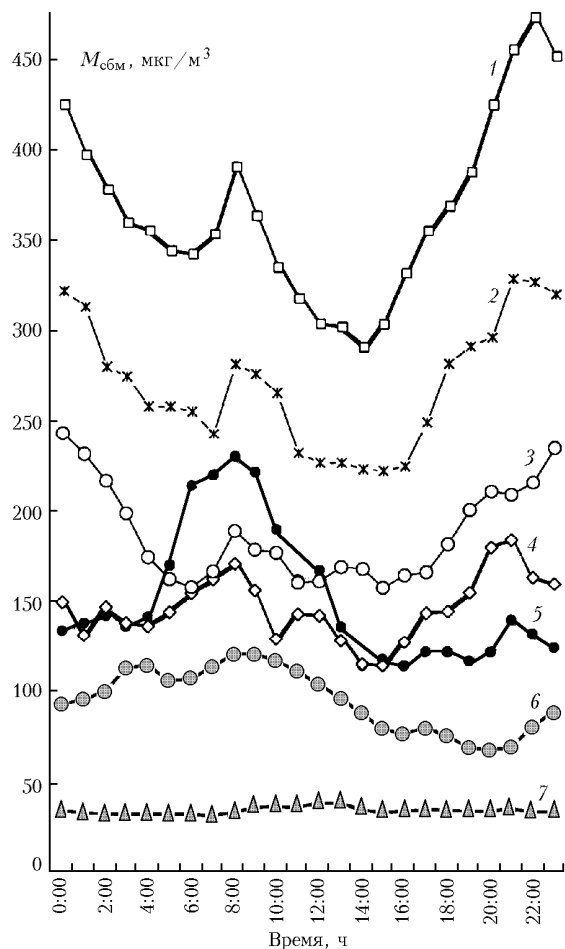


Рис. 1. Сопоставление средних суточных ходов массовой концентрации субмикронного аэрозоля в Пекине и Москве в разные периоды измерений. Кривая 1 – Пекин, осень 1999; 2 – Пекин, осень 1996–1998; 3 – Пекин, осень 2000; 4 – Пекин, осень 1992; 5 – Пекин, лето 1999; 6 – Москва, зима, 1991; 7 – Москва, осень 1993

по данным наших наблюдений [3, 4, 9]. Данные для Пекина за осенние сезоны 1996–1998 гг. представлены одной усредненной кривой, чтобы не нагружать рисунок лишними подробностями. Характер суточной изменчивости в эти годы мало менялся, а средние за сезон уровни концентрации субмикронного аэрозоля за эти годы представлены в таблице.

Для осенних измерений как 1992 г., так и 1996–2000 гг. наблюдаются отчетливо выраженный дневной минимум с 11 до 15 ч, а также два максимума: утрен-

ний в 8–9 ч и, более выраженный, вечерний с 20 до 23 ч. На рис. 1 также проявляются особенности летних уровней загрязнения воздушного бассейна Пекина. В суточном ходе наблюдается только один отчетливо выраженный утренний максимум. На рис. 1, для сопоставления, изображены также результаты измерений, полученные в Москве идентичными методами для февраля 1991 г., когда наблюдались наиболее высокие уровни загрязнения воздушного бассейна Москвы, и для ноября 1993 г. [3, 4]. Сопоставление среднего суточного хода в осенние периоды 1992, 1996–1998 гг. и летнего 1999 г. позволяет сделать вывод, что за период с 1992 по 1999 г. в Пекине существенно увеличился уровень аэрозольного загрязнения, а в 2000 г. произошло почти двукратное уменьшение, по сравнению с 1999 г., концентрации как субмикронного аэрозоля, так и его сажевой составляющей (см. также таблицу).

Отличия летнего и осеннего сезонов в уровнях загрязнения в Пекине отчетливо проявляются на гистограммах повторяемости массовой концентрации субмикронного аэрозоля (рис. 2), где также представлены гистограммы концентрации сажи.

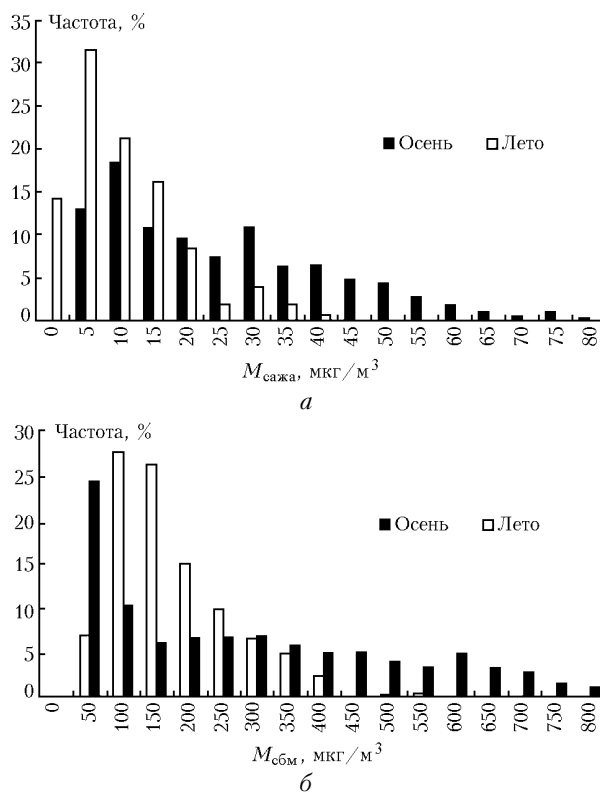


Рис. 2. Сопоставление гистограмм распределения по концентрациям сажи (а) и субмикронного аэрозоля (б) для летних и осенних измерений в г. Пекине

Для осеннего сезона в Пекине характерно двумодальное распределение по концентрациям, причем, несмотря на очень высокую в среднем загрязненность воздуха, наиболее вероятные значения концентрации субмикронного аэрозоля существенно не превышают мировых стандартов чистого воздуха (но не для средних значений).

Объем измерений концентрации сажи позволяет провести полноценное сопоставление с результатами нефелометрических измерений. Как видно из таблицы, для осенних данных Пекина высокая корреляция концентраций субмикронного аэрозоля и сажи существенно выше, чем для других представленных регионов. Как показывают результаты сопоставления средних суточных ходов и гистограмм сажи и аэрозоля, основные выводы сохранятся и для сажевой компоненты: наличие двух максимумов осенью в суточном ходе и одного летом [15].

На рис. 3 в качестве примеров приведены наиболее типичные дневные ходы содержания CO во всей толще атмосферы и локальные значения концентрации субмикронного аэрозоля (13 ноября 1998 г. – пример дневного хода с характерным максимумом и высоким содержанием CO, рис. 3, б); при этом наблюдался слабый ветер юго-западного направления (~ 200°), мало меняющийся с высотой.

Изменения в течение дня содержания CO в вертикальном столбе атмосферы и концентрации приземного аэрозоля, как правило, существенно коррелируют (рис. 3, а, б, в). В других случаях (рис. 3, г), особенно в утренние часы, уровни содержания CO во всей толще атмосферы и локальные концентрации аэрозоля антикоррелируют или существенной связи не наблюдается.

Наиболее низкие значения содержания CO, близкие к фоновым, наблюдаются при северном, северо-восточном и северо-западном ветрах. Наиболее высокие значения наблюдаются при слабом ветре южного направления. При слабом ветре содержание CO обычно существенно меняется в течение дня, причем максимальные значения наблюдаются чаще всего с 12 до 15 ч.

Даже при таких антропогенных нагрузках, которые испытывает воздушный бассейн города, довольно часто наблюдаются дни с фоновыми значениями содержания угарного газа во всем столбе атмосферы и умеренными концентрациями аэрозоля в приземном слое при северных и северо-западных направлениях ветра и средней скорости ветра в 300-м слое более 4 м/с.

В работе [9] рассмотрены среднедневные значения превышения полного содержания CO в городе (U) над региональным фоновым содержанием ($U_{\text{ф}}$) $\Delta U = U - U_{\text{ф}}$, атм · см. В качестве фонового содержания принято значение 0,08 атм · см. Наибольшие значения содержания ΔU во всей толще атмосферы в Пекине за все время измерений с 1992 по 2001 г. наблюдались 9 ноября 1996 г., при направлении ветра 150–180° и средней в слое 300 м скорости ветра 1,7–2,5 м/с, при этом скорость ветра почти не менялась с высотой. Такое направления ветра было и в предшествующие три дня. Все эти факторы привели к эффекту накопления примеси в атмосферном слое, что подтверждается очень

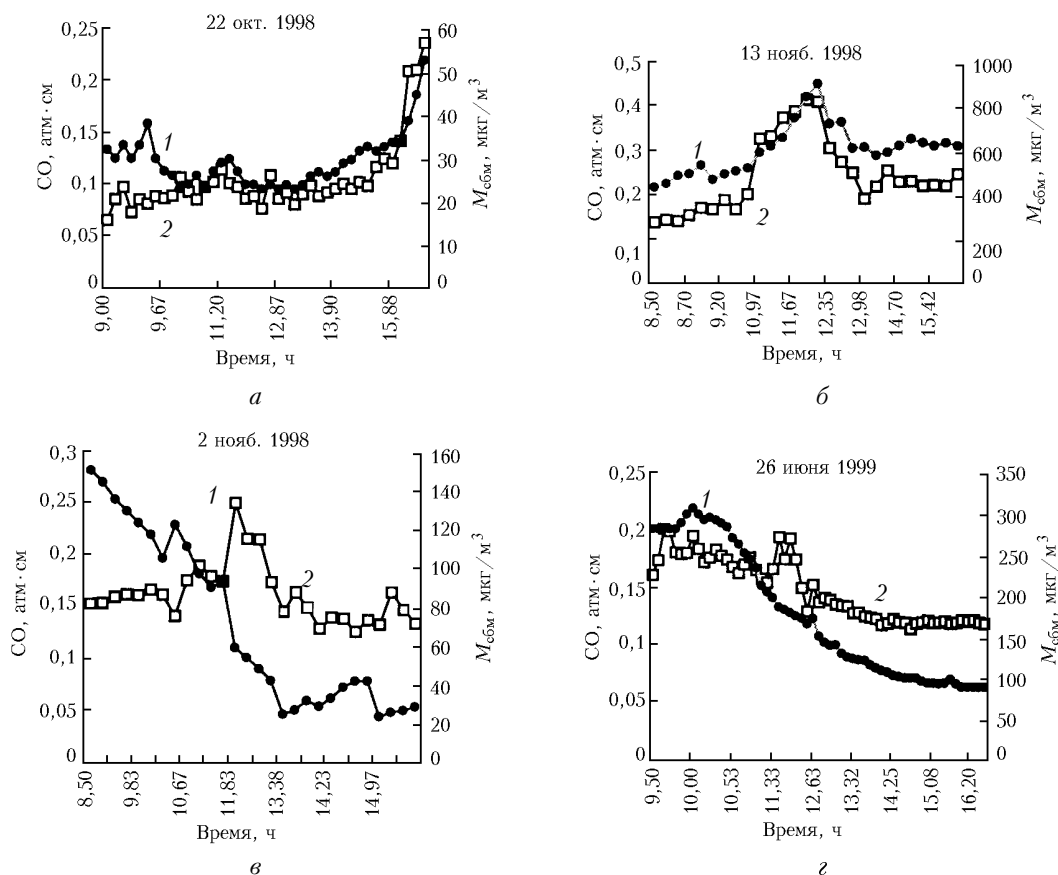


Рис. 3. Примеры дневных синхронных изменений концентрации субмикронного аэрозоля в приземном слое (1) и содержания угарного газа (2) во всей толще атмосферы в г. Пекине

высокими уровнями содержания сажи и субмикронного аэрозоля. Среднее значение ΔU за 3 ч наблюдений с 11 ч 30 мин до 14 ч 30 мин составило 0,380 атм · см. Напомним, что экстремальное значение ΔU , наблюдаемое в Москве, – 0,220 атм · см, при среднем 0,033 атм · см за 1992–2000 гг.

Проанализированы значения ΔU в различные дни 1992, 1996, 1997 и 1998 гг. в зависимости от средних в слое 300 м направлений ветра. Наиболее высокие значения ΔU наблюдаются при направлениях ветра от 150 до 180° и наиболее низкие при северо-восточном и северо-западном направлениях ветра. Существенная зависимость ΔU от направления ветра объясняется, по-видимому, как расположением пункта наблюдения на северной окраине города, так и тем, что ветры северного направления попадают в Пекин из гористой пустынной местности и из Сибири, а ветры южного направления из загрязненных, густонаселенных районов Китая.

На рис. 4 представлены результаты сравнения среднедневных измерений концентрации приземного аэрозоля и городской добавки ΔU общего содержания окиси углерода в логарифмическом виде по данным всех измерений 1992–2001 гг. Данные 2000 и 2001 гг. выделены.

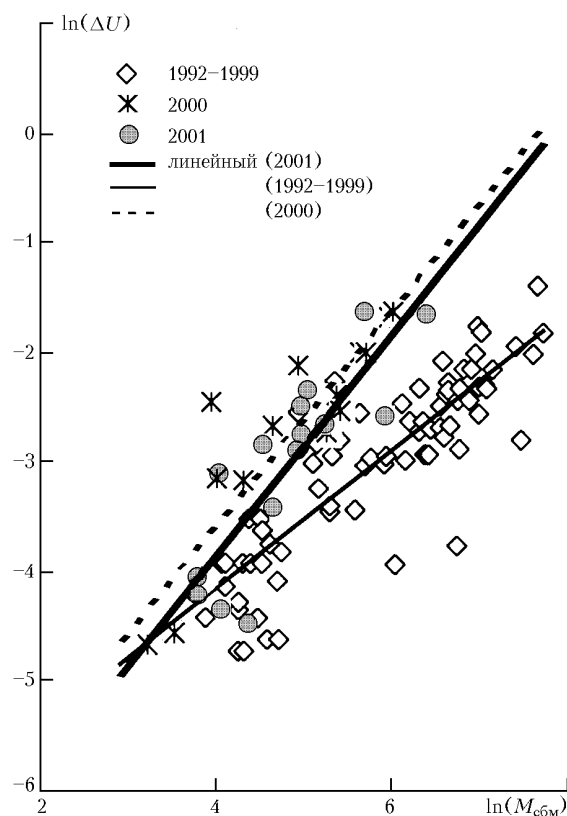


Рис. 4. Корреляционные связи между приземной концентрацией субмикронного аэрозоля и ΔU – содержанием СО в слое загрязненного городом воздуха для массива данных 1992–1999 гг. и осенних данных 2000 и 2001 гг.

Там же показаны линии регрессии отдельно для 2000, 2001 и массива данных 1992–1999 гг. Наблюда-

ется высокая корреляционная связь как для массива данных 1992–1999 (коэффициент корреляции 0,86), так и для осени 2000 и 2001 гг. (коэффициент корреляции 0,9), однако в 2000 и 2001 гг., как видно из рис. 4, тем же, что и в 1992–1999 гг., концентрациям угарного газа в толще атмосферы над городом соответствуют более низкие приземные концентрации субмикронного аэрозоля. По-видимому, такие изменения связаны с изменением структуры выбросов загрязняющих веществ: в 2000 г. все многочисленные уличные жаровни для приготовления пищи, являющиеся основными источниками эмиссии загрязняющих веществ в Пекине, были переведены с угля на газ.

Таким образом, анализируя результаты совместных круглосуточных измерений концентрации сажи и субмикронного аэрозоля в осенний и летний периоды в Пекине и сопоставляя полученные результаты с другими регионами (см. таблицу), можно сделать следующие выводы. В осенний сезон наблюдается очень тесная корреляция между концентрациями сажи и аэрозоля, в летний сезон корреляция существенно меньше. Причины, вызывающие уменьшение корреляции, заключаются в закономерном увеличении отношения $M_{сбм}/M_{сажа}$ в дневное время для летнего периода 1999 г. при сравнении с осенними периодами 1996–1998 гг. [10]. Основной вклад в дисперсию вносят вариации синоптического масштаба, вместе с тем существенны высокочастотные вариации с периодами от минуты до часа. В суточном ходе как для сажи, так и для субмикронного аэрозоля для осенних измерений отчетливо прослеживаются два максимума, утренний и вечерний. Летом наблюдается только один утренний максимум.

Для осеннего сезона в Пекине характерно двумодальное распределение по концентрациям, при этом наиболее вероятные уровни загрязнения не превышают мировых норм, в то время как средние значения существенно превышают уровни загрязнения, наблюдавшиеся нами для Москвы и Кисловодска. При этом в отдельные дни уровни загрязнения сажей и субмикронным аэрозолем существенно превышают предельно допустимые концентрации. Наибольшие уровни загрязнения наблюдаются в вечерние и ночные часы в период с 18 ч вечера до 2 ч ночи. Летом наиболее вероятные уровни загрязнения выше, чем зимой, распределение по концентрациям одномодальное, средние значения существенно ниже, чем в осенний период, а максимальные уровни загрязнения наблюдаются в утренние часы в основном с 5 до 9 ч.

За период измерений с 1992 по 1999 г., по данным осенних наблюдений, существенно увеличилось общее содержание как окиси углерода в толще атмосферы, так и субмикронного аэрозоля и сажи в приземном слое. Уровни загрязнения летом 1999 г. оказались ниже осенних 1996–1999 гг. Максимальные уровни загрязнения в приземном слое наблюдались осенью 1999 г. В 2000 г. в осенний период концентрации сажи и субмикронного аэрозоля в приземном слое существенно уменьшились (в два раза по сравнению с 1999 г.), что указывает на эффективность принятых мер по улучшению экологической обстановки в Пекине.

Анализ близких по мощности источников загрязнения атмосферы мегаполисов Москвы и Пекина показывает, что существенно различающиеся условия адвекции и конвекции в атмосфере этих городов приводят к значительным различиям в уровнях загрязнения атмосферы – в Пекине они существенно выше, как в среднем, так и в экстремальных случаях. Вместе с тем наиболее вероятные уровни загрязнения в осенний период как приземных концентраций сажи и субмикронного аэрозоля, так и общего содержания угарного газа в атмосфере над г. Пекином не намного выше, чем средние значения для осеннего периода измерений в Москве.

Поэтому целесообразно выделить два типа условий распространения примесей в Пекине.

1. Уровни концентрации сажи и аэрозоля в приземном слое не превышают общепринятых норм, а содержание угарного газа во всем столбе атмосферы сопоставимо со средними величинами, характерными для Москвы. Такие условия в Пекине, по данным осенних измерений 1992–2000 гг., наиболее вероятны в этот период года и осуществляются, в основном, в 300-м слое при средних скоростях ветра более 3 м/с в северных и северо-западных направлениях.

2. Уровни концентрации сажи и субмикронного аэрозоля существенно превышают предельно допустимые концентрации, а общее содержание угарного газа в атмосфере над городом существенно выше средних значений. Такие условия бывают очень редко в Москве, в то время как для Пекина они составляют почти треть состояния атмосферы в осенний период. Такие экстремальные уровни загрязнения наблюдаются, в основном, при южных и юго-восточных направлениях ветра в сочетании с температурными инверсиями и малым изменением скорости ветра с высотой.

Переход в 2000 г. многочисленных бытовых приборов и приспособлений для обогрева и приготовления пищи в Пекине с угольных брикетов на газ существенно (вдвое) уменьшил уровень приземной концентрации субмикронного аэрозоля и сажи, как в экстремальных случаях, так и в среднем, в то время как общее содержание угарного газа в атмосфере изменилось мало. Возможно, это связано с резким увеличением количества автомобилей в 2000 г.

Использование спектральных методов определения содержания угарного газа в вертикальном столбе атмосферы в сочетании с синхронными измерениями в приземном слое концентраций сажи и аэрозоля оказалось эффективным как для изучения уровня атмосферного загрязнения г. Пекина, так и для выявления тенденции их развития.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 01-05-64405.

1. *Фокеева Е.В., Гречко Е.И., Пекур Н.С.* Изучение загрязненности центра Москвы окисью углерода в осенний период // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1998. Т. 34. № 4. С. 565–572.
2. *Гречко Е.И., Ракитин В.С., Фокеева Е.В., Джола А.В., Пекур М.С., Тиме Н.С.* Изучение влияния па-

раметров атмосферного пограничного слоя на изменчивость содержания окиси углерода в центре Москвы // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1993. Т. 29. № 1. С. 11–17.

3. *Емиленко А.С., Сидоров В.Н.* Синхронные измерения концентрации субмикронного аэрозоля в Москве и Подмоскowie // Контроль состояния воздушного бассейна г. Москвы. Препр. / ИФА РАН. 1995. № 2. Часть III. С. 82–87.
4. *Сидоров В.Н.* Вариации концентрации субмикронного аэрозоля в приземном слое (Москва/Подмоскowie, осень 1993) // Контроль состояния воздушного бассейна г. Москвы. Препр. / ИФА РАН. 1992. № 9. Часть II. С. 93–104.
5. *Копейкин В.М.* Сажевый аэрозоль в атмосфере г. Москвы // Контроль состояния воздушного бассейна г. Москвы. Препр. / ИФА РАН. 1995. № 2. Ч. III. С. 64–81.
6. *Dianov-Klokov V.I., Yurganov L.N., Grechko E.I., Dzholala A.V.* Spectroscopic measurements of atmospheric carbon monoxide and methane. 1: Latitudinal distribution // J. Atmos. Chem. 1989. V. 8. P. 139–151.
7. *Гречко Е.И., Ракитин В.С., Фокеева Е.В.* Спектроскопические измерения содержания окиси углерода в воздушном бассейне Москвы (методика, аппаратура, предварительные результаты) // Контроль состояния воздушного бассейна г. Москвы. Препр. / ИФА РАН. 1991. № 1. С. 20–29.
8. *Дианов-Клоков В.И., Фокеева Е.В.* Спектроскопические измерения общего содержания окиси углерода в воздушных бассейнах городов // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1982. Т. 18. № 6. С. 641–651.
9. *Gengchen Wang, Grechko E.I., Emilenko A.S., Dzholala A.V., Kopeikin V.M., Fokeeva E.V.* Results of Simultaneous Measurements of Carbon Monoxide in the Atmosphere and Submicron Aerosol in the Surface Layer over Beijing // Izvestia, Atmospheric and Oceanic Phys. 2001. V. 37. Suppl. 1. P. s1–s9.
10. *Емиленко А.С., Копейкин В.М., Ван Ген Чен.* Некоторые сезонные особенности уровней загрязнения аэрозолям в городе Пекине // Тр. Международной аэрозольной конференции, посвященной памяти профессора А.Г. Сутугина. Москва, 26–30 июня 2000 г. М.: РИЦ МГИУ, 2000. С. 48–56.
11. *Емиленко А.С.* Исследование вариаций концентрации субмикронного аэрозоля в атмосфере города // Вторая Международная конференция «Состояние и охрана воздушного бассейна курортных районов». Кисловодск, 1990. С. 90–97.
12. *Емиленко А.С.* Вариации содержания субмикронного аэрозоля в приземном слое воздуха Алма-Аты // Исследование загрязнения атмосферы Алма-Аты. Алма-Ата: Гылым, 1990. С. 31–41.
13. *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.
14. *Емиленко А.С., Сидоров В.Н.* Нефелометрический способ определения временных и пространственных изменений концентрации субмикронного аэрозоля // Контроль состояния воздушного бассейна г. Москвы. Препр. / ИФА РАН. 1991. № 1. Часть 1. С. 53–59.
15. *Емиленко А.С., Копейкин В.М., Ван Ген Чен.* Вариации содержания сажи и субмикронного аэрозоля в городе // Физика атмосферного аэрозоля: Тр. Международной конференции. Москва, 12–17 апреля 1999 г. М.: Диалог-МГУ, 1999. С. 160–169.

Geng Chen Wang, E.I. Grechko, A.S. Emilenko, V.M. Kopeikin, E.V. Fokeeva. **Results of joint measurements of CO in the atmospheric depth and submicron aerosol in the atmospheric surface layer in Beijing.**

Round-the-clock measurements of the surface concentration of submicron aerosol are reported along with the data on CO content in urban air in the northern part of Beijing in fall periods of 1992, 1996–2001, as well as in summer of 1999. Beijing is characterized by very strong correlation between the surface concentrations of soot and submicron aerosol ($\rho = 0.9$ for fall of 1992, 1996–2001 and $\rho = 0.8$ for summer of 1999). High correlation was also obtained for logarithms of urban CO in the atmospheric depth and the surface concentration of submicron aerosol (daily mean values). The high monthly mean surface concentrations result from extremely high concentrations far exceeding the maximum permissible values in days with gentle southern breeze and temperature inversions in the lower 300-m layer. A significant growth of the soot and aerosol concentrations was observed in Beijing since 1992 till 1999; the monthly mean values of the concentrations almost doubled. In 2000 they decreased sharply (1.5 times) due to gasification, while the urban fraction of CO in the atmospheric depth did not change. Measurements in Beijing and Moscow are compared.