

В.С. Козлов, М.В. Панченко, Е.П. Яшуева

Временная изменчивость содержания субмикронного аэрозоля и сажи в приземном слое атмосферы Западной Сибири

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 29.08.2007 г.

На основе регулярных почасовых измерений рассмотрены особенности межгодовой и сезонной изменчивости массовых концентраций сухой основы субмикронного аэрозоля и сажи, а также относительного содержания сажи в аэрозольных частицах в приземном слое воздуха в 1997–2006 гг. Проанализированы массивы среднегодовых, среднесезонных и среднемесячных значений аэрозольных параметров, а также их среднеквадратические отклонения и коэффициенты вариации. Для подмассивов данных, полученных в условиях незадымленной лесными пожарами атмосферы, изучены особенности годового хода, исследованы тенденции вариаций и тренды межгодовой изменчивости среднегодовых и среднесезонных значений аэрозольных характеристик.

Введение

Важная роль атмосферного аэрозоля в радиационных процессах в атмосфере определяет необходимость изучения особенностей временной изменчивости аэрозольных характеристик *in situ*. Сажа (BC – Black Carbon, кристаллический углерод) является основной поглощающей компонентой в составе атмосферного аэрозоля и вносит значительный вклад в формирование неселективного аэрозольного поглощения в коротковолновой области спектра. Для понимания роли аэрозоля в климатических изменениях особое значение приобретает анализ рядов многолетних измерений параметров атмосферного аэрозоля в различных географических районах. Количество таких экспериментальных исследований невелико.

В ряду работ, выполненных в последние годы и посвященных изучению долговременных изменений содержания аэрозоля в приземном слое, можно отметить [1–3]. Так, в работе [1] авторы на основе анализа 12-летнего ряда измерений массовой концентрации субмикронного аэрозоля в Подмоскowie исследовали межгодовую и сезонную изменчивость аэрозоля, выявили отрицательный межгодовой тренд в период с 1991 по 2002 г. с относительной интенсивностью около 2,6% в год.

В работе [2] обсуждаются данные 4-летних регулярных измерений на четырех наземных станциях США коэффициентов рассеяния и поглощения аэрозоля в видимой области спектра, которые, в частности, показали, что средние значения коэффициентов поглощения и рассеяния испытывали сильную пространственную изменчивость, изменяясь при переходе от «фоновой» аэрозольной станции (Аляска) к станции с антропогенной нагрузкой

(Бондвилл, Иллинойс) – в 10 и 5 раз соответственно. Отмечено также, что средний годовой ход оптических характеристик на фоновой станции характеризовался максимумом в зимний и минимумом в летний сезоны года. Аналогичные особенности годового хода коэффициентов рассеяния и поглощения получены и в работе [3], в которой рассматривались результаты 1,5-годичного цикла измерений, проведенных авторами на о. Гонконг.

Цель настоящей статьи заключается в анализе межгодовой и сезонной изменчивости субмикронного приземного аэрозоля в регионе Западной Сибири на основе регулярных измерений в 1997–2006 гг.

Аппаратура и методика исследований

С 1996 г. нами на аэрозольной станции ИОА СО РАН [4] проводятся круглосуточные измерения коэффициента направленного рассеяния сухой основы субмикронного аэрозоля под углом 45° на длине волны 0,52 мкм и массовой концентрации BC в приземном слое атмосферы. Текущие данные станции доступны по сети Internet (<http://aerosol1.iao.ru>). Измерения коэффициента направленного рассеяния сухой основы аэрозольных частиц под углом 45° проводились с помощью нефелометра типа ФАН с чувствительностью до $0,001 \text{ км}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$. Данные коэффициента направленного рассеяния могут быть использованы для оценки полного коэффициента рассеяния и массовой концентрации субмикронного аэрозоля [5]. Массовая концентрация BC в составе аэрозольных частиц измерялась аэталометром по методике, аналогичной методике Хансена с соавт. [6]. Аэталометр позволял измерять массовую концентрацию BC в пределах от 0,1 до 110 мкг/м^3 с чувствительностью около $0,1 \text{ мкг/м}^3$ при прокачке

через прибор около 20 л воздуха. Относительное содержание ВС P в сухой основе субмикронного аэрозоля определялось как отношение массовых концентраций ВС и аэрозоля со средней погрешностью около 20%. (Далее по тексту P приводятся в долях единицы или процентах). По результатам измерений сформированы массивы среднегодовых, среднесезонных, среднемесячных и среднесуточных значений аэрозольных параметров, а также их среднеквадратические отклонения и коэффициенты вариации. Проанализированы особенности временной динамики аэрозольных характеристик. В Западной Сибири в теплый период года часто наблюдаются лесные пожары, возгорания торфяников и палы растительности. В связи с этим с целью изучения влияния пожаров на аэрозольный состав атмосферы были дополнительно сформированы подмассивы данных, из которых были исключены эпизоды с пожарами. Такой подход позволил отдельно рассматривать условия незадымленной (фоновой) атмосферы.

Межгодовая изменчивость аэрозольных характеристик

Расчет трендов межгодовой изменчивости среднегодовых и среднесезонных значений аэрозольных характеристик выполнялся нами на основе линейной аппроксимации временных рядов за 10-летний период измерений аналогично [7]. В связи с этим полученные оценки параметров межгодовой изменчивости массовых концентраций аэрозоля и ВС, а также относительного содержания сажи в частицах отражают особенности сравнительно короткопериодного процесса на рассмотренном временном интервале. Определялась величина относительной интенсивности тренда (%), равная отношению скорости изменения среднегодовых значений к среднему значению аэрозольной характеристики за полный период измерений. Аналогичные оценки трендов выполнялись для среднесезонных величин. Оценка статистической значимости трендов проводилась с помощью критерия Стьюдента аналогично [8].

Рассмотрение полных массивов данных за 1997–2006 гг. показало, что наблюдаемые ежечасные значения массовых концентраций аэрозоля M_a , кристаллического углерода M_{BC} и относительного содержания сажи P варьировали в пределах 3–570 мкг/м³, 0,1–25 мкг/м³ и 1–20%. Для среднемесячных данных соответствующие диапазоны вариаций сужаются до значений 12–95 мкг/м³, 0,7–3 мкг/м³ и 3–14%. Среднегодовые значения аэрозольных параметров в основном варьируются в пределах 18–23 мкг/м³ для концентрации аэрозоля, 1,7–2 мкг/м³ для M_{BC} и 8–13% для относительного содержания ВС. Временные развертки среднегодовых и среднесезонных значений аэрозольных характеристик в 1997–2006 гг. для массивов, освобожденных от влияния пожаров, показаны на рис. 1, где приведены также прямые линии, иллюстрирующие для 10-летнего периода измерений тренды среднегодовых значений (статистически значимые с доверительной вероятностью 95%).

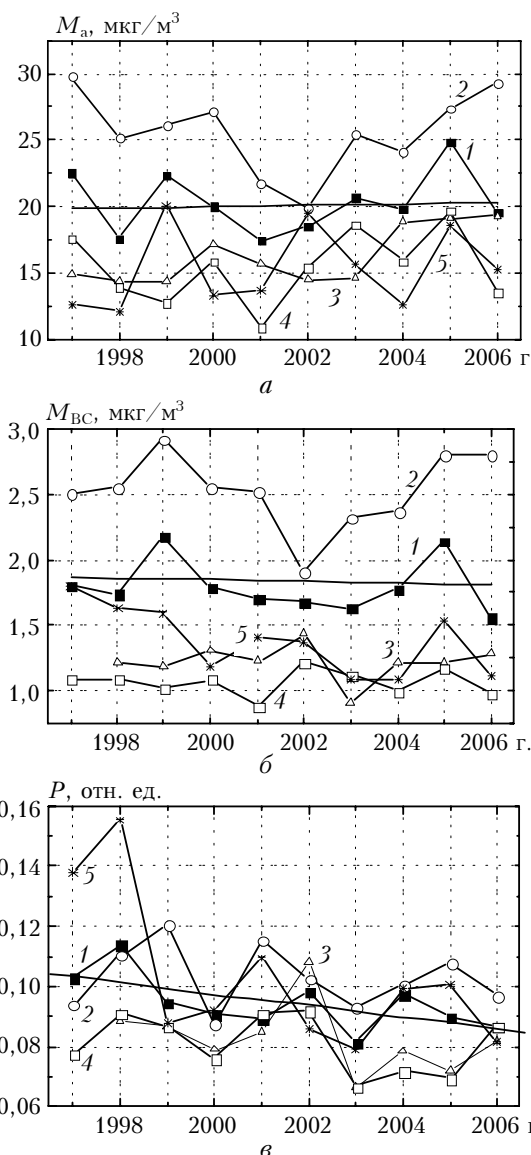


Рис. 1. Временные ходы среднегодовых (1) и среднесезонных (2 – зима, 3 – весна, 4 – лето, 5 – осень) массовых концентраций аэрозоля M_a (а), сажи M_{BC} (б) и относительного содержания сажи P (в)

Видно, что межгодовая изменчивость M_a , M_{BC} и P характеризуется в целом нелинейными зависимостями, содержащими локальные экстремумы, которые иллюстрируют сравнительно «тонкую» структуру межгодовых колебаний концентраций. Так, за период 1997–2002 гг. наблюдается тенденция уменьшения среднегодовых (и среднесезонных зимних) значений анализируемых аэрозольных параметров, а с 2003 г. проявляется тенденция возрастания концентраций аэрозоля и сажи. При этом оценки показывают, что для полного 10-летнего периода сохраняются отрицательные тренды изменчивости среднегодовых значений концентрации ВС (–0,6% в год) и относительного содержания ВС в частицах (–2% в год). Однако проявляется положительный тренд концентрации аэрозоля (0,4% в год). Одной из причин уменьшения среднегодовой концентрации ВС и относительного содержания ВС

в частицах за 10 лет измерений, вероятно, может быть постепенное уменьшение из года в год антропогенной нагрузки в отопительный период года. Достаточно высокий отрицательный тренд уменьшения среднегодовых значений P свидетельствует, в свою очередь, о качественной перестройке состава субмикронного аэрозоля в течение 10-летнего периода измерений, которая привела к уменьшению поглощательной способности аэрозольных частиц, в среднем по величине P от 10,5 до 8,5%.

Временные развертки среднесезонных значений аэрозольных характеристик обнаруживают зависимость величины трендов от сезона года. Наибольшие значения трендов соответствуют весне и осени. Так, массовая концентрация аэрозоля весной увеличивалась на 3% в год, осенью — на 2%. Массовая концентрация ВС уменьшалась весной на 0,2% в год, осенью — на 3%, а P уменьшалось — весной на 2%, осенью на 4% в год.

Величины относительных трендов в зимний и летний периоды года для каждой аэрозольной характеристики меньше их значений в промежуточные сезоны, но также являются статистически значимыми с доверительной вероятностью 95%. Обращают на себя внимание в целом незначительный зимний отрицательный тренд содержания аэрозоля, положительный тренд ВС и отрицательный тренд P — по 0,1% в год. Это является следствием наиболее выраженных именно в зимний период тенденций уменьшения M_a и M_{BC} до 2002 г. и их последующего увеличения с 2003 г. Установленные различия тенденций изменчивости среднесезонных значений M_a и M_{BC} служат показателем определенной независимости участия аэрозоля и ВС в процессах формирования и стока частиц. Из этого следует, что, вероятно, представление о поглощающем веществе как пассивной примеси в составе частиц является лишь некоторым приближением.

На рис. 2 приведены временные ходы среднегодовых коэффициентов вариации V (V — отношение среднеквадратического отклонения величины к среднему значению) концентраций аэрозоля, сажи и относительного содержания сажи, полученные на основе усреднения их среднесуточных значений. Каждая из точек характеризует внутригодовую вариабельность аэрозольных параметров.

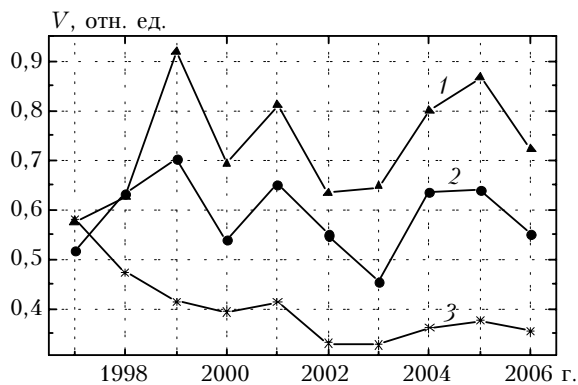


Рис. 2. Временные ходы среднегодовых коэффициентов вариации V_a (1), V_{bc} (2) и V_p (3)

Как видно, коэффициенты вариаций среднегодовых концентраций аэрозоля (V_a) и ВС (V_{bc}) изменяются в достаточно широких пределах — от 0,5 до 0,9 с максимумами значений в 1999 и 2005 гг. Обращает на себя внимание значительное уменьшение за 10-летний период среднегодового коэффициента вариации относительного содержания сажи V_p от 0,6 до 0,35 (кривая 3).

Сезонная изменчивость концентраций аэрозоля и ВС

Анализ среднемесячных и среднесуточных массивов данных показал наличие устойчивых тенденций сезонной изменчивости аэрозольных характеристик. Такой вывод качественно согласуется с результатами исследований временной изменчивости аэрозоля в различных географических районах для временных рядов продолжительностью более года [1–3]. На рис. 3 приведены усредненные за 10 лет годовые ходы рассматриваемых аэрозольных характеристик.

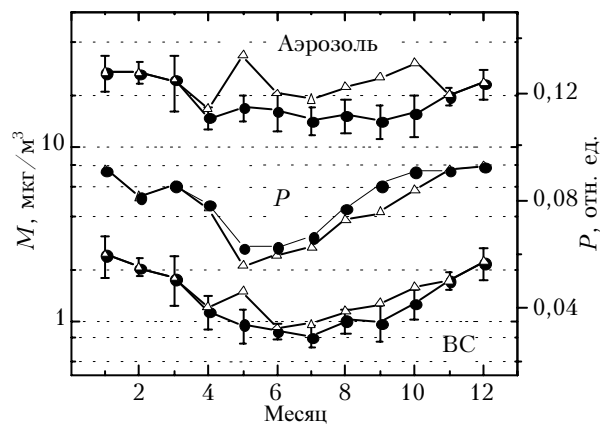


Рис. 3. Среднегодовые ходы концентраций M_a , M_{bc} и P (1997–2006 гг.: Δ — с учетом пожаров, \bullet — фоновый аэрозоль)

Результаты осреднения полного массива данных обозначены треугольниками. Кривые, соответствующие массивам данных, освобожденных от влияния пожаров, обозначены черными точками (фоновый аэрозоль). На кривых для концентраций аэрозоля и ВС указаны среднеквадратические отклонения среднемесячных значений за 10 лет измерений. В незадымленной (фоновой) атмосфере годовые ходы аэрозольных характеристик характеризуются зимним максимумом и летним минимумом. Форма годовых ходов аэрозольных характеристик обладает межгодовой устойчивостью. Усредненные за 10 лет среднемесячные концентрации аэрозоля и ВС в фоновой атмосфере варьируют в пределах 14–28 мкг/м³ и 0,8–3 мкг/м³ соответственно. Межсезонные концентрации изменяются в среднем 2 раза для аэрозоля и 3 раза — для ВС. Средние за 10-летний период значения P для фоновых аэрозоля изменяются от 0,06 до 0,1 (см. рис. 3).

Проявление годового хода P обусловлено тем, что сезонная динамика концентрации ВС выражена более значительно, чем вариации концентрации аэрозоля, что определяется сезонными различиями интенсивности основных процессов, ответственных за эмиссию субмикронного аэрозоля и ВС. Действительно, для аэрозоля при переходе к теплomu периоду года существенно активизируются процессы фотохимической генерации аэрозольных частиц. В то же время интенсивность генерации ВС по мере завершения отопительного сезона существенно ослабляется. Подобные сезонные различия направленности процессов эмиссии аэрозоля и стока ВС естественно способствуют формированию летнего минимума в годовом ходе относительного содержания сажи.

Рис. 4 иллюстрирует годовой ход среднемесячных V_a , V_{BC} и V_p в 2002 г., полученных на основе усреднения их среднесуточных значений.

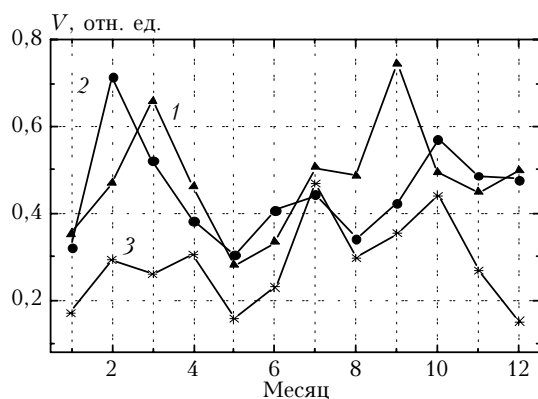


Рис. 4. Годовой ход среднемесячных коэффициентов вариации V_a (1), V_{BC} (2) и V_p (3) в 2002 г.

Для среднемесячных значений вариабельность в основном определяется процессами синоптического масштаба. Значения коэффициентов вариации изменяются в достаточно широких пределах — от 0,2 до 0,8. В годовом ходе наибольшие значения коэффициентов вариации массовых концентраций аэрозоля и сажи наблюдаются весной и в осенне-зимний периоды года. Отметим, что аналогичная тенденция прослеживается и для среднемесячных коэффициентов вариации, усредненных за 10 лет измерений.

Заключение

Выявлены тенденции убывания среднегодовых и зимних среднесезонных массовых концентраций аэрозоля, сажи и относительного содержания сажи в частицах в 1997–2002 гг. и их возрастания с 2003 по 2006 г. В этих условиях за полный период наблюдаются положительный тренд аэрозоля и отрицательные тренды изменчивости ВС и относитель-

ного содержания ВС в частицах (0,4, –0,6 и –2% в год соответственно). Величины трендов зависят от сезона года и максимальны в весенний и осенний периоды года. По этой причине тренды среднегодовых массовых концентраций аэрозоля и ВС за 10-летний период в значительной степени определялись их динамикой в весенний и осенний сезоны года.

Различие тенденций межгодовой изменчивости среднесезонных концентраций аэрозоля и ВС служит показателем определенной независимости участия аэрозоля и сажи в процессах формирования и стока частиц.

Существенное уменьшение среднегодовых значений P и его коэффициента вариации свидетельствует о том, что в период 1997–2006 гг. происходила перестройка качественного состава субмикронного аэрозоля и уменьшение его поглощательной способности.

Установлено, что годовые ходы аэрозольных характеристик фонового аэрозоля характеризуются зимним максимумом и летним минимумом. Показано, что такая форма годового хода аэрозольных характеристик обладает межгодовой устойчивостью.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 06-05-64393).

1. 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 (http://www.arm.gov/publications/proceedings/conf14/extended_abs/gorchakov-gi.pdf)
2. Delen D.J., Ogren J.A. Variability of aerosol optical properties at four north American surface monitoring site // J. Atmos. Sci. 2002. V. 59. N 3. P. 1135–1150.
3. 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.
4. Kozlov V.S., Panchenko M.V., Tumakov A.G., Shmarunov V.P., Yausheva E.P. Some peculiarities of the mutual variability of the content of soot and sub-micron aerosol in the near-ground air layer // J. Aerosol Sci. 1997. V. 28. Suppl. 1. P. 231–232.
5. 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.
6. 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.
7. Житорицук Ю.В., Стадник В.В., Шанина И.Н. Исследование линейных трендов во временных рядах солнечной радиации // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1994. Т. 30. № 3. С. 389–391.
8. Русак В.К. О современных изменениях прозрачности атмосферы // Метеорол. и гидрол. 1987. № 3. С. 53–57.

V.S. Kozlov, M.V. Panchenko, E.P. Yausheva. Variability of the content of submicron aerosol and black carbon in the near-ground air layer in West Siberia.

The peculiarities of year-to-year and seasonal variability of the mass concentrations of the dry matter of submicron aerosol, Black Carbon (BC) and relative content of BC in aerosol particles are considered in the paper on the basis of regular every-hour measurements carried out in the near-ground air layer in 1997–2006. The data arrays of annual mean, seasonal mean, and monthly mean aerosol parameters, as well as their rms deviations and variation coefficients are analyzed. The tendencies of variations and year-to-year trends of annual and seasonal mean values are studied for the data arrays free of fire situations.