

## О внутригодовой изменчивости массовой концентрации субмикронного приземного аэрозоля в Подмоскowie

А.А. Исаков\*

Учреждение Российской академии наук Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН  
109017, г. Москва, Пыжевский пер., 3

Поступила в редакцию 29.01.2010 г.

Проанализирован 19-летний ряд непрерывных ежедневных наблюдений массовой концентрации сухой основы приземного субмикронного аэрозоля  $M$ . Выявлены некоторые устойчивые особенности годового хода ее значений, сглаженных скользящим осреднением. В двух третьих внутригодовых зависимостей (12 лет) высокочастотные, с периодами 3–20 сут, вариации  $M$  промодулированы из года в год воспроизводимым квазиколебательным процессом. Это два разделенных глубоким провалом пика содержания  $M$  примерно равной длительности около 70 сут в январе–мае, далее следует глубокий провал  $M$  длительностью тоже около 10 нед и, наконец, примерно с конца августа один-два менее выраженных пика той же длительности. Для двух других возможных сценариев развития событий повторяемость ниже: в первом два зимне-весенних пика сливаются в один широкий, во втором — отсутствует февральский пик.

*Ключевые слова:* субмикронный аэрозоль, массовая концентрация, внутригодовые вариации; submicron aerosol, mass concentration, intra-annual variations.

### Введение

Анализируются временные зависимости средне-суточных значений массовой концентрации  $M$  сухой основы приземного субмикронного аэрозоля на основе данных, полученных на Звенигородской станции ИФА в 1991–2001 гг. В.Н. Сидоровым с помощью проточного нефелометра и в 2002–2009 гг. с помощью спектрополяриметра автором настоящей статьи. Характеристики проточного нефелометра и спектрополяриметра приведены в [1, 2]. Обычно осредненные аэрозольные характеристики рассчитывают для суточных, месячных и годовых интервалов. Если для суточных и годовых вариаций это естественный «солнечный» цикл, то месячная «календарная» или «лунная» привязка осреднения никак не связана с характерными периодами вариаций анализируемых величин и при осреднении эти вариации чаще всего утрачиваются. В результате получаются достаточно гладкие кривые, как, например, в [1], где приведена развертка среднемесячных значений массовой концентрации  $\langle M \rangle$  сухой основы субмикронного аэрозоля, дополнительно осредненных по нескольким годам. Временные зависимости среднемесячных величин  $\langle M \rangle$  для нескольких лет приведены в [2]. Бросается в глаза наличие на развертке отдельных пиков, при этом воспроизводимость их положения отсутствует (что и обеспечивает сглаживание кривых [1]).

Основной вклад в вариации  $\langle M \rangle$ , как известно, вносит смена воздушных масс, иначе, их дальний, на расстояния в тысячи километров перенос.

Характер вариаций таков, что в них выделяются квазипериодические структуры с периодами от нескольких суток до 10 нед [2]. Заметим, что квазипериодические колебания характерны не только для аэрозольных характеристик. Так, в [3] установлены колебания зональной скорости ветра в стратосфере, по периодам и времени появления удивительно совпадающие с таковыми [2], хотя здесь речь идет о нижней тропосфере. То, что речь идет именно о квазициклических явлениях переноса не только аэрозоля, но и других малых составляющих атмосферы, которые условно можно считать пассивными примесями, подтверждено в [4].

Особо, на наш взгляд, следует остановиться на понятии «среднегодовых» значений  $M$ . Размах вариаций  $M$  составлял в последние годы более двух порядков — от 2–3 до 350 мкг/м<sup>3</sup>. При таком разбросе значений  $M$  может сложиться впечатление о невозможности оценить различия  $\langle M \rangle$ . Однако совершенно ясно, что точность оценки проинтегрированных по годовому интервалу значений  $M(t)$  именно в силу аддитивности этой величины определится лишь точностными параметрами приборов, а не статистикой вариаций.

Так, непрерывно работавший пробоотборник, собиравший аэрозоль на фильтр, даст интегральное содержание  $M$  и точность измерения ее будут определять лишь точности взвешивания и определения скорости прокачки. Легко видеть, что суммирование наших данных за год эквивалентно описанной только что процедуре. Таким образом, мы вправе сравнивать накопленные значения  $\sum M_i/n$ , где  $n = 365$  или 366, ориентируясь лишь на приборную точность. Именно это значение мы в дальнейшем

\* Андрей Александрович Исаков (A.A.Isakov@mail.ru).

будем подразумевать под термином «среднегодовое значение  $M$ ».

## Методика анализа

Начало календарного года в Подмоскowie более или менее совпадает с началом климатической зимы, поэтому весь ряд наблюдений 1991–2009 гг. был разбит на девятнадцать массивов, начинавшихся 1 января и заканчивавшихся 31 декабря. Для каждого массива путем скользящего осреднения по 30 точкам были получены сглаженные кривые вариаций  $\langle M \rangle$ . Было выбрано 30-точечное осреднение по следующим соображениям: во-первых, необходимо сгладить все высоко- и среднечастотные вариации с периодами от суток до 20 сут [2]; во-вторых, не слишком загладить вариации длительностью около 50 сут и, наконец, в-третьих, это более или менее соответствует прежнему расчету среднемесячных значений. Для осреднения использовались сервисы пакета Origin. На рис. 1 приведены временные развертки измерений исходных величин  $D_{11} = D_{11}(45^\circ, 0,54 \text{ мкм})$  и кривая скользящего осреднения по 30 точкам.

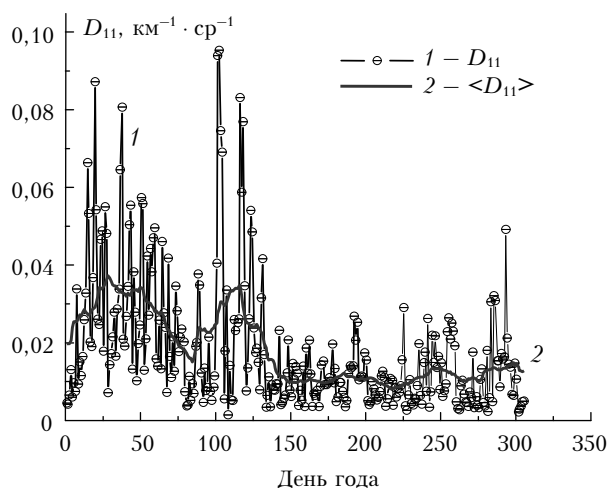


Рис. 1. Временные развертки коэффициента направленного светорассеяния  $D_{11}(45^\circ, 0,54 \text{ мкм})$  (кривая 1) и ее скользящее среднее по 30 точкам  $\langle D_{11} \rangle$  (кривая 2)

Несмотря на сильноосциллирующий характер зависимости  $D_{11}(t)$ , сглаженная кривая в целом правильно передает основные тенденции  $D_{11}(t)$ . Таким образом, поведение сглаженных кривых, которые будут рассмотрены ниже, не может быть отнесено на счет процедуры сглаживания. Пересчет значений  $D_{11}$  на значения массовой концентрации  $M$  выполнялся, как обычно, по формуле  $M = 3000D_{11}(45^\circ, 0,54 \text{ мкм})$  [2].

## Обсуждение результатов

Анализ 20 кривых  $\langle M \rangle$  показал, что во временных зависимостях  $\langle M \rangle$  отчетливо прослеживаются закономерности трех основных типов. Сглаженные зависимости  $\langle M \rangle$ , иллюстрирующие наиболее часто

встречающийся (12 случаев из 19) вариант, приведены на рис. 2 — для 2004–2007 и рис. 3 — для 1991–1994 гг. Напомним, что начиная с 2004 г. в Подмоскowie наблюдался [2] рост числа случаев плотных и сверхплотных дымок (с массовой концентрацией  $M > 150 \text{ мкг/м}^3$ ), за счет чего быстро росли среднегодовые значения  $\langle M \rangle$ .

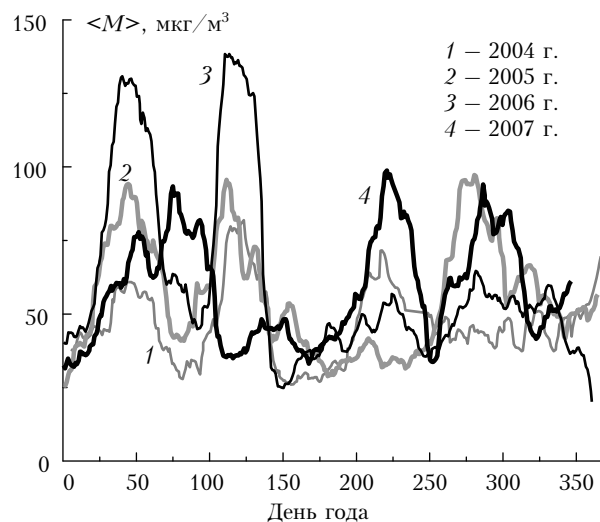


Рис. 2. Временные развертки сглаженных величин  $\langle M \rangle$  для 2004–2006 гг. (кривые 1–3, «типовой» сценарий) и 2007 г. (кривая 4, второй сценарий, один широкий зимне-весенний максимум)

На рис. 1 и 2 отчетливо проявилась структура временных разверток  $M$ , отмеченная еще в [2]: в начале года (январь–май) на трех последовательных кривых 2004–2006 гг. присутствуют два отчетливых пика или максимума, разделенных глубоким провалом. Амплитуда этих максимумов со временем растет, но для всех трех кривых длительность обоих пиков (на уровне «основания») примерно одинакова и равна  $(70 \pm 5)$  сут, а положение максимумов и минимумов на оси времени совпадает с точностью не хуже 1 нед. К концу мая уровень  $M$  быстро падает, и опять в течение примерно тех же 70 дней вплоть до конца августа в ходе  $M$  наблюдается глубокий минимум. В оставшиеся до конца года 4 мес  $\langle M \rangle$  постепенно нарастает со слабо выраженным (а иногда и ярко выраженным) максимумом в октябре. Ширина этого максимума около 2 мес. На рис. 2, чтобы не загромождать его, не приведены результаты 2008–2009 гг., но они вполне укладываются в описанную схему с одной оговоркой — кривая 2008 г. на всем интервале хорошо совмещается с остальными после смещения ее на 30 дней вправо. Иначе (для 2008 г.) этот квазиколебательный процесс в Подмоскowie начался на 1 мес раньше обычного для последних лет (а точнее, в декабре 2007 г.), конкретно климатическая зима началась раньше.

Аналогичная картина, правда, не столь рельефная, наблюдалась и в начале 90-х гг. (рис. 3).

Здесь изменчивость положения первых двух пиков на оси времени несколько больше, длительность их несколько меньше, чем на рис. 2, но структура кривых, по сути, точно та же.

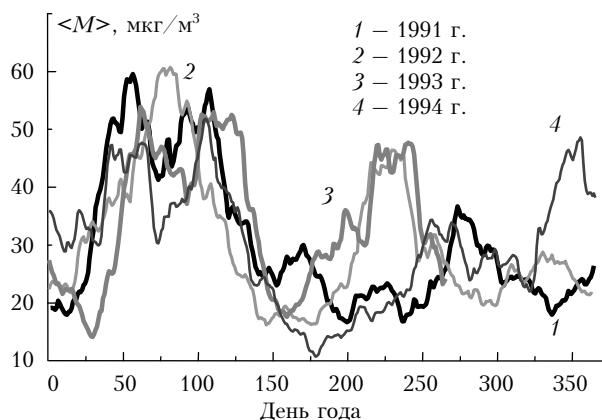


Рис. 3. Временные развертки сглаженных величин  $\langle M \rangle$  для 1991 г. (кривая 1), 1993–1994 гг. (кривые 3–4, «типовой» сценарий) и 1992 г. (кривая 2, второй сценарий, один широкий зимне-весенний максимум)

Второй тип зависимостей  $\langle M \rangle$  представляют очень похожие кривые, полученные в 1992 г. (рис. 3) и 2007 г. (см. рис. 2) (всего подобных случаев 3 из 19). Здесь первые два пика слились в один широкий, а летне-осенние части кривых сходны с таковыми первого типа.

Третий тип представлен тремя кривыми (конец 90-х гг.) – трижды наблюдались случаи, когда на зависимостях  $\langle M \rangle$  отсутствовал первый, «февральский» пик, а «апрельский» был длительностью около 50 сут.

Три описанных возможных сценария развития событий проиллюстрированы рис. 4, а–в: рис. 4, а – первый «типовой», рис. 4, б – слившиеся первые пики, рис. 4, в – отсутствие февральского пика. На рис. 4, г приведена кривая для  $\langle M \rangle$ , полученная в 2003 г., – единственная кривая, не имеющая аналога.

Подытожим изложенное выше. Анализ ряда непрерывных наблюдений длиной в 20 лет позволил выявить некоторые закономерности в вариациях массовой концентрации приземного субмикронного аэрозоля в Подмоскowie. Особо подчеркнем, что, поскольку обусловлены они крупномасштабными движениями атмосферы, эти закономерности, скорее всего, справедливы только для Центральной России.

Повторяющиеся по характеру зависимости  $\langle M \rangle$  можно разделить на три типа. Если принять за начало отсчета конец лета, то после прохождения минимума  $\langle M \rangle$  начинаются долгопериодные вариации  $\langle M \rangle$  с постепенно нарастающей амплитудой и длительностью около 70 сут, наибольшей амплитуды достигающие к апрелю. Далее следует резкий, двух-, трехкратный, провал в значениях  $\langle M \rangle$ , длящийся тоже порядка 2,5 мес. Возможно, это совпадение, но в длительность года почти точно укладываются пять таких колебаний. В другие годы события развивались по одному из двух других сценариев – либо два зимних пика сливались в один широкий (рис. 4, а, 3 года), либо наблюдался один узкий пик в апреле (рис. 4, б, 3 года). Единственный случай, не укладывающийся ни в один из вариантов, зафиксирован в 2003 г. (рис. 4, г).

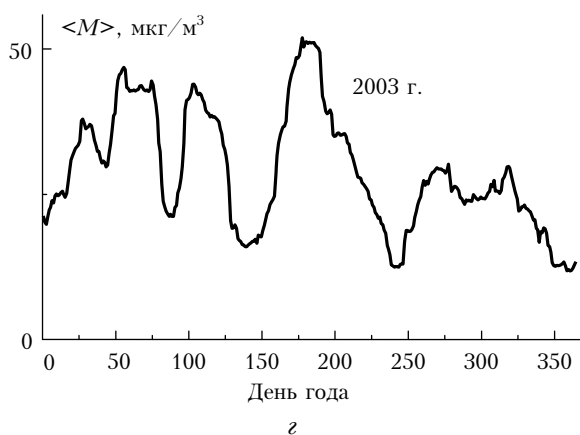
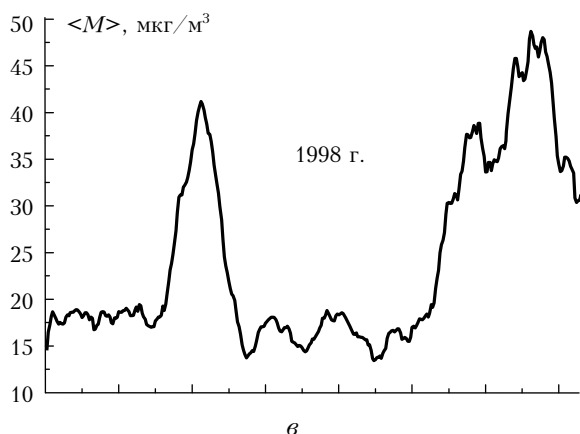
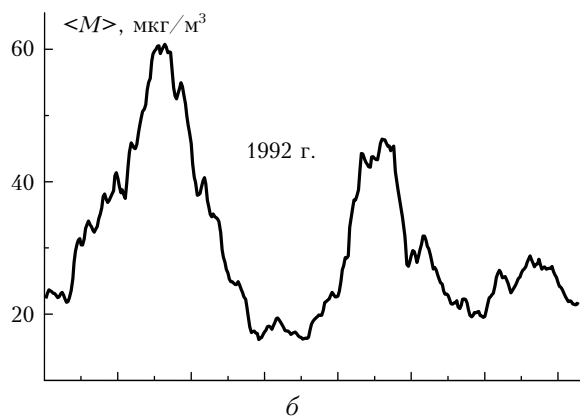
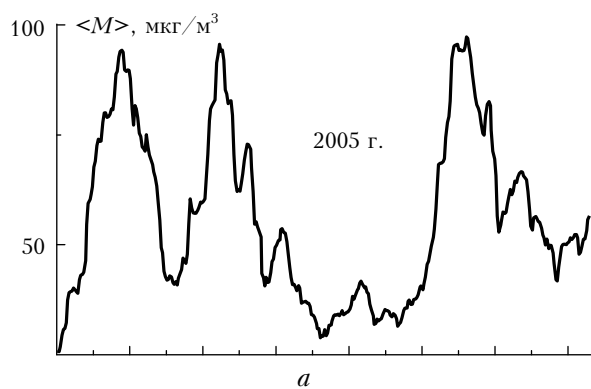


Рис. 4. Характерный вид кривых  $\langle M \rangle$  для каждого из трех сценариев: а – основной сценарий; б – один широкий зимне-весенний максимум; в – один узкий апрельский пик; г – зависимость  $\langle M \rangle$ , не имеющая аналогов

В работе [5] исследовались проявления геофизических характеристик в погодно-климатических параметрах тропосферы, в том числе обсуждался вопрос о возможности существования связи между солнечной активностью (СА) и климатическими процессами. В качестве характеристики солнечной активности используются числа Вольфа или солнечное радиационное излучение на длине волны 10,7 см. В [6] исследовано влияние солнечной активности на годовой ход общего содержания озона и показано, что возможный механизм воздействия — через динамику атмосферы. Для анализа вопроса о возможной связи СА и вариаций  $M$  мы воспользовались данными об этой характеристике Солнца на сайте [ftp://ftp.ngdc/noaa.gov/STP/SOLAR\\_DATA/SOLAR\\_RADIO/FLUX/](ftp://ftp.ngdc/noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_RADIO/FLUX/).

На рис. 5 представлены результаты сопоставления индекса солнечной активности  $f(10,7 \text{ см})$  и среднегодового значения  $M$ . Как можно было ожидать,

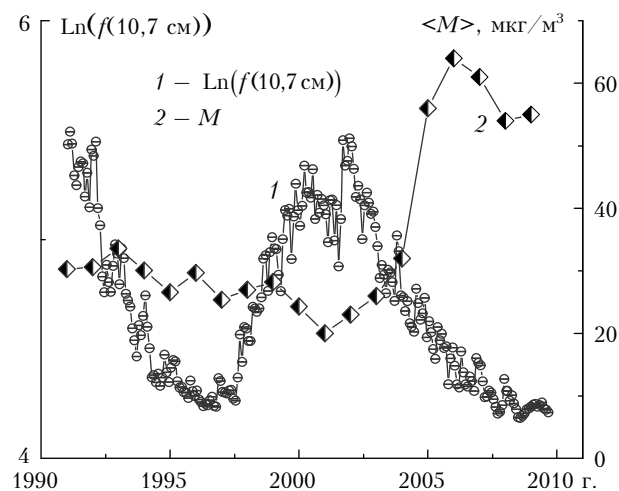


Рис. 5. Временные развертки среднегодовых величин  $\langle M \rangle$  (кривая 1) и параметра  $f(10,7 \text{ см})$  солнечной активности (кривая 2)

связь этих совершенно разной природы величин, если таковая действительно существует, проявилась не всюду, а лишь на части ряда  $M$ . Противофазный ход  $M$  и  $f$  отчетливо просматривается лишь в последние 9–10 лет, в первой половине ряда  $M$  связь не просматривается. Еще раз подчеркнем, что вариации  $M$  есть результат крупномасштабных движений в нижней тропосфере, однако сам по себе факт *монотонного* нарастания  $M$  в последние годы нуждается в объяснении.

*A.A. Isakov. On intra-annual variability of the mass concentration of the submicron near-surface aerosol in Moscow Region.*

The continuous nineteen-year time series of the data of daily observations of the submicron aerosol mass concentration  $M$  is analyzed. Some stable peculiarities of the intra-annual behavior of this parameter, smoothed by means of the moving average, are revealed. In two thirds of the intra-annual courses (12 years), high-frequency variations of  $M$  with periods 3–20 days are modulated by quasi-oscillatory processes reproducing from year to year. They are two peaks in  $M$  content in January–May with approximately equal duration of about 70 days, separated by a deep dip. Further, another deep dip of the  $M$  value follows with the same duration of ten weeks, and finally approximately from the end of August, one or two less pronounced peaks are observed. As for two other possible scenarios, their repeatability is less, and in the first one, two winter-spring peaks merge into wide one, and the February peak is missing in the second one.

## Заключение

Проанализирован 19-летний ряд непрерывных ежедневных наблюдений массовой концентрации приземного субмикронного аэрозоля  $M$ . Выявлены некоторые устойчивые особенности годового хода этой величины, сглаженной скользящим осреднением. В двух третях внутригодовых зависимостей (12 лет) высокочастотные, с периодами 3–20 сут, вариации  $M$  промодулированы из года в год воспроизводящимся квазиколебательным процессом. Это два разделенных глубоким провалом пика содержания  $M$  примерно равной длительности около 70 сут в январе–мае, далее следует глубокий провал величины  $M$  длительностью тоже около 10 нед и, наконец, примерно с конца августа 1–2 менее выраженных пика той же длительности. Группы таких зависимостей образуют серии из 3–4 реализаций (лет), разделенных иным типом кривых  $\langle M \rangle$ . Для двух других возможных сценариев развития событий повторяемость ниже: в первом два зимне-весенние пика сливаются в один широкий (3 случая), во втором — отсутствует февральский пик (3 случая). Единственная в своем роде зависимость  $M$  для 2003 г. отличалась от прочих тем, что в ней присутствовал третий, летний, пик.

Автор благодарит д.ф.-м.н. Г.И. Горчакова и д.ф.-м.н. А.Н. Груздева за полезные обсуждения.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 10-05-01019.

1. Сидоров В.Н. Сезонный и суточный ход содержания сухой фракции субмикронного аэрозоля в приземном слое // Тр. конф. «Физика атмосферного аэрозоля». М.: Диалог-МГУ, 1999. С. 356–367.
2. Исаков А.А., Груздев А.Н. Долгопериодные вариации оптических и микрофизических параметров приземного аэрозоля на Звенигородской научной станции // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2009. Т. 45. № 2. С. 245–254.
3. Мордвинов В.И., Иванова А.С., Девятова Е.В. Возбуждение арктической осцилляции крутильными колебаниями // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22. № 2. С. 193–200.
4. Хуторова О.Г. Взаимосвязь вариаций приземной концентрации атмосферных примесей в двух промышленных регионах Татарстана // Оптика атмосфер. и океана. 2004. Т. 17. № 6–7. С. 526–529.
5. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И. Атмосферная радиация, оптическая погода и климат // Оптика атмосфер. и океана. 2004. Т. 17. № 12. С. 1003–1017.
6. Груздев А.Н., Брассер Г.П. Воздействие 11-летнего цикла солнечной активности на характер годового хода общего содержания озона // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2007. Т. 43. № 3. С. 379–391.