

О.Г. Хуторова, Г.Е. Корчагин

Исследование пространственной структуры мезомасштабных вариаций приземного аэрозоля различными методами

Казанский государственный университет

Поступила в редакцию 29.11.2000 г.

Проведен анализ мезомасштабных вариаций приземного аэрозоля по измерениям сети автоматизированных станций с помощью различных численных методов. Вклад этих процессов в общую дисперсию флуктуаций приземного аэрозоля составляет 16% по трехлетним рядам наблюдений концентрации аэрозоля в Татарстане. Сделаны оценки горизонтальных скоростей перемещения и пространственных размеров мезомасштабных вариаций приземного аэрозоля.

Вариации концентрации приземного аэрозоля имеют различные временные и пространственные масштабы [1–3]. В последнее время исследование мезомасштабных процессов вызывает значительный интерес, например анализ когерентных структур в условиях конвекции представлен в работе [4].

С 1996 г. Казанский государственный университет и Минприроды Республики Татарстан ведут непрерывные наблюдения концентрации аэрозоля в приземном слое атмосферы с помощью сети автоматических станций экологического мониторинга. Измерения проводятся на высоте 2,4 м фильтровым методом, точность измерения 1 мкг/м³ [5]. Помимо аэрозоля станции измеряют метеопараметры (скорость и направление ветра, температуру, относительную влажность) и концентрации газовых примесей (CO, NO, NO₂, SO₂, H₂S).

В настоящее время накоплены данные за 1996–1999 гг. измерений сетью из пяти автоматических станций в пункте 53° с.ш., 51° в.д. Станции пространственно разнесены на расстояния от 0,9 до 6,3 км (рис. 1). Все это позволяет исследовать пространственную структуру мезомасштабных вариаций приземного аэрозоля.

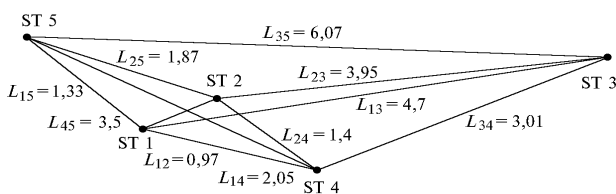


Рис. 1. Схема расположения измерительных станций

По четырехлетним рядам измерений концентрации аэрозоля был оценен вклад вариаций различных временных масштабов в общую дисперсию флуктуаций концентрации аэрозоля. Оценка дисперсии проводилась по временным рядам концентрации среднесуточных значений для синоптических и среднеме-

сячных для сезонных вариаций. Дисперсия, вносимая мезомасштабными процессами, оценивалась по рядам с временным разрешением 30 мин. Причем при оценке дисперсии из рядов исключались вариации больших масштабов путем исключения скользящего среднего (за 24 ч при оценке мезомасштабной дисперсии, за 30 сут при оценке синоптической компоненты). Расчеты показали, что вклад мезомасштабных вариаций в общую дисперсию флуктуаций концентрации аэрозоля составляет 16%, другие процессы вносят больший вклад в дисперсию (таблица).

Дисперсия флуктуаций концентрации приземного аэрозоля

Дисперсия	Вклад, %
Общая	100
Сезонная	22
Синоптическая	24
Мезомасштабная	16
Турбулентная	38

Выявление флуктуаций с характерными масштабами от 2 до 16 ч проведено с помощью вейвлет-анализа рядов концентрации аэрозоля, измеренной с шагом 30 мин. Известно, что вейвлет-представление проектирует одномерный сигнал-функцию времени на плоскость время – частота и позволяет увидеть изменение во времени спектральных свойств сигнала. Вейвлет-преобразование $Wf(x, a)$ одномерного сигнала $f(t)$ состоит в его разложении по базису, сконструированному из солитоноподобной функции (вейвлета) $\psi(t)$ посредством масштабных изменений a и переносов x :

$$Wf(x, a) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi\left(\frac{t-x}{a}\right) f(t) dt. \quad (1)$$

Таким образом, в отличие от преобразования Фурье вейвлет-преобразование обеспечивает двумерную развертку исследуемого одномерного сигнала, при этом частота и координата рассматриваются как

независимые переменные. В результате появляется возможность анализировать свойства сигнала одновременно в физическом (время, координата) и в частотном пространствах. Для анализа квазипериодических вариаций был использован вейвлет Морле [6–10], представляющий собой плоскую волну, модулированную гауссианом:

$$\psi(t) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2}. \quad (2)$$

На рис. 2 представлены примеры вейвлет-представления для двухнедельных рядов концентрации аэрозоля, измеренной в июне и ноябре 1997 г. По горизонтальной оси отложено время за двухнедельный период наблюдения. По вертикальной оси – временные масштабы выделенных флуктуаций. Градации серого цвета означают интенсивность флуктуаций. Представлены также сами измерения вместе с рядами давления и температуры за тот же период. Видно, что повышение активности мезомасштабных флуктуаций концентрации аэрозоля наблюдается в периоды, предшествующие фронтам понижения или повышения давления. Как правило, в эти же периоды возрастает и концентрация приземного аэрозоля. Сравнение вейвлет-представления для аэрозоля и других метеопараметров показывает, что моды возмущений концентрации аэрозоля совпадают с модами возмущений скорости ветра.

По длинным рядам концентрации аэрозоля, измеренной на каждой из станций в период 1–14 октября 1996 г., проведен динамический спектральный анализ внутри скользящего временного окна шириной 24 ч с целью выделения периодических мезомасштаб-

ных вариаций с периодом от 1 до 16 ч. Временное окно сдвигалось синхронно по 5 рядам.

В полученных 5 спектрах, привязанных к одному периоду времени, выбирались значимые пики, выявленные одновременно на всех станциях (значимость 0,9 по критерию χ^2). Это говорит о присутствии волновых процессов, распространяющихся в пространстве. Наблюдения спектров в пространственно-разнесенных точках позволяют оценить горизонтальные фазовые скорости перемещения волновых возмущений C_x и периоды t_x этих волновых процессов, их пространственные размеры (длины волн λ_x).

Оценки пространственных масштабов определялись с помощью линейной регрессии по значениям фазовых спектров в разных пунктах:

$$\Delta\varphi_k = \frac{2\pi}{\lambda_x} x_k, \quad k = 1, 9.$$

Зная периоды волн, определяем их фазовые скорости:

$$C_x = \lambda_x / t.$$

Гистограммы этих параметров представлены на рис. 3 для периодов от 2 до 16 ч, наиболее вероятные значения $\lambda_x = 2\div 15$ км, $C_x = 10\div 50$ м/с.

Периоды и фазовые скорости мезомасштабных волн совпадают с периодами и фазовыми скоростями внутренних гравитационных волн (ВГВ), наблюдаемых в средней атмосфере [3]. Это позволяет предположить, что природа волновых вариаций в приземном слое та же, что и в мезотермосфере, и флуктуации концентрации аэрозоля могут быть вызваны динамическими процессами, обусловленными ВГВ [4] в тропосфере. Максимальные неоднородности концентрации

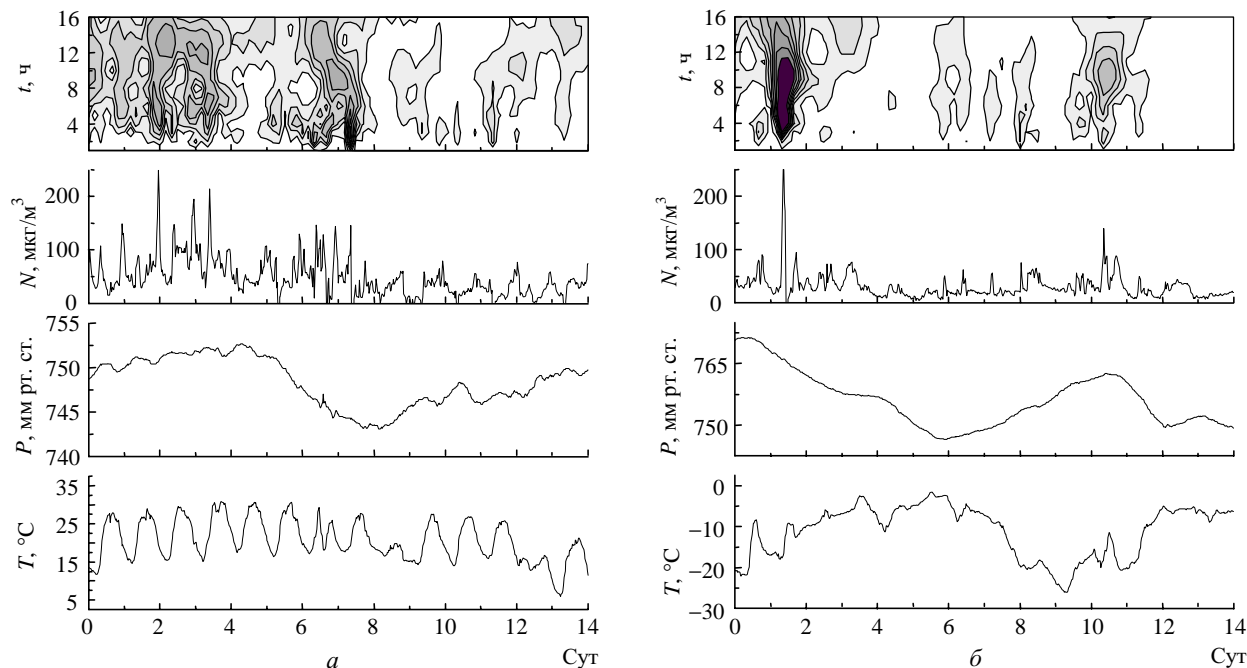


Рис. 2. Интенсивность мезомасштабных вариаций концентрации аэрозоля, давления и температуры, 1997 г.: а – июнь; б – ноябрь

аэрозоля с периодами 2–16 ч наблюдаются в январе – феврале и июле – августе. В этот же период наблюдается увеличение концентрации аэрозоля [2, 5].

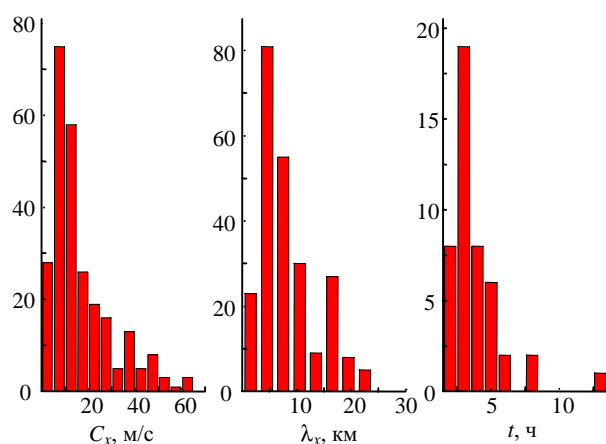


Рис. 3. Гистограммы параметров мезомасштабных волновых вариаций приземного аэрозоля (C_x – фазовые скорости, t_x – периоды, λ_x – длины волн)

К основным результатам можно отнести следующие:

1. Найден вклад мезомасштабных волновых процессов в общую дисперсию флуктуаций приземного аэрозоля. Он составляет 16% по трехлетним рядам наблюдений концентрации аэрозоля в Татарстане.

2. Выявлено, что повышение интенсивности мезомасштабных флуктуаций концентрации аэрозоля наблюдается в периоды, предшествующие фронтам понижения или повышения давления.

3. Периодические мезомасштабные вариации приземного аэрозоля имеют фазовые скорости 10–50 м/с, пространственные масштабы до 15 км.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 01-05-64390.

1. *Контроль* состояния воздушного бассейна г. Москвы. Препр. / ИФА. М., 1985. № 2. 87 с.
2. Zuev V.V., Burlakov V.D., El'nikov A.V. // J. Aerosol Sci. 1998. V. 29. N 10. P. 1179–1188.
3. Khutorova O.G. Spectra of tropospheric aerosol's and polluting impurities variations // J. Aerosol. Sci. 1999. V. 30. N S1. P. 335–336.
4. Горчаков Г.И., Шишков П.О., Копейкин В.М., Емленко А.С., Исаков А.А., Захарова П.В., Сидоров В.Н., Шукуров К.А. Лидарно-нефелометрическое зондирование аридного аэрозоля // Оптика атмосф. и океана. 1998. Т. 11. N 10. С. 1118–1123.
5. Schepovskih A.I., Safin R.N., Khutorova O.G. // Environ. Radioecolog. and Appl. Ecol. 1997. V. 3. N 3. P. 19–28.
6. Фахрутдинова А.Н., Хуторова О.Г. Влияние внутренних гравитационных волн на динамический режим нижней термосферы // Изв РАН. Физика атмосф. и океана. 1998. Т. 34. № 1. С. 19–24.
7. Мошин А.С. Прогноз погоды как задача физики. М.: Наука, 1969. 184 с.
8. Pastuszka J.S. // J. Aerosol Sci. 1997. V. 28. P. 229–231.
9. Frick P., Galyagin D., Hoyt D., Nesme-Ribes E., Shatten K., Sokoloff D., Zakharov V. // Astron. and Astrophys. 1997. V. 328. P. 670–681.
10. Mallat S. // IEEE Trans. on Pattern and Machine Intelligence. 1989. V. 11. P. 674–693.

O.G. Khutorova, G.E. Korchaqin. Study of spatial mesoscale variations of the nearground aerosol by different methods.

Analysis of mesoscale variations of the nearground aerosol is carried out by different numerical methods. Three-year series of measurements of aerosol concentration by the net of automated stations was used. The contribution of these processes is 16% to common variance of fluctuations of a tropospheric aerosol. Horizontal velocities and spatial sizes of mesoscale variations were estimated.