

О.Г. Хуторова, Г.М. Тептин

Сезонная изменчивость спектра вариаций атмосферных параметров приземного слоя

Казанский государственный университет

Поступила в редакцию 8.01.2003 г.

Проведено исследование сезонной изменчивости мезомасштабных и синоптических вариаций концентрации приземного аэрозоля по трехлетним измерениям сети автоматизированных станций. Показано, что интенсивность синоптических вариаций для всех исследуемых параметров модулируется гармониками годового хода. Интенсивность мезомасштабных вариаций модулируется как синоптическими, так и сезонными процессами.

Актуальность задачи выделения характерных масштабов временных и пространственных вариаций примесных компонент атмосферы и сопоставления их с вариациями метеопараметров не вызывает сомнения. На формирование пространственно-временных характеристик полей атмосферных примесей влияют атмосферные процессы различных масштабов, взаимодействующие друг с другом. Их можно подразделить согласно классификации [1] на диапазоны по временным масштабам:

- микрометеорологический диапазон соответствует масштабам меньше 5 мин;
- мезометеорологический от 5 мин до нескольких часов;
- на более низких частотах вклад в спектр колебаний атмосферных параметров дают планетарные волны синоптических масштабов с периодами порядка нескольких суток;
- сезонные колебания — колебания с годовым периодом и их гармоники;
- межгодовые колебания с периодами порядка нескольких лет.

Целью данной работы является исследование влияния сезонных и синоптических вариаций на мезомасштабные.

Исследование проводилось с помощью анализа базы данных, собранной сетью автоматизированных станций. Одновременные измерения концентрации аэрозоля, CO, NO, NO₂, H₂S, SO₂ и метеопараметров — температуры, относительной влажности, скорости ветра — проводятся на высоте 2,4 м с интервалом 30 мин для аэрозоля и 1 мин для остальных компонентов. Параметры аппаратуры [2] обеспечивают разрешающую способность измерения массовой концентрации аэрозоля 1 мкг/м³. Принцип измерения — абсорбция β-излучения при прохождении его через фильтр, на котором оседает аэрозоль.

В работе использовались длинные ряды непрерывных наблюдений с 1996 г., собранные сетью из шести станций в гг. Зеленодольск (54° с.ш., 49° в.д.) и Альметьевск (53° с.ш., 51° в.д.). Измерения всех параметров усреднялись за 1 ч.

Предварительный анализ длинных рядов изменений аэрозоля и химических примесей по данным станций атмосферного мониторинга методом спек-

трального и вейвлет-анализа показал большие возможности в исследовании временных и пространственных вариаций атмосферных примесей [3, 4].

Для выявления характеристик временных вариаций применялся вейвлет-анализ, который позволяет получить изменения во времени спектральных свойств исследуемых величин.

Вейвлет-преобразование одномерного сигнала $f(t)$ состоит в его разложении по базису, сконструированному из обладающей определенными свойствами функции (вейвлета) $\Psi(t)$, посредством масштабных изменений a и переносов x :

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

Каждая из функций этого базиса характеризует как определенную частоту (или соответствующий ей временной масштаб вариации a), так и ее локализацию в физическом пространстве или времени — x [5].

Таким образом, в отличие от преобразования Фурье вейвлет-преобразование обеспечивает двумерную развертку исследуемого одномерного сигнала, при этом временной масштаб вариации и координата рассматриваются как независимые переменные. В результате появляется возможность анализировать свойства сигнала во временном и в частотном пространствах одновременно.

На практике общим правилом является то, что вид вейвлета должен быть похож на вид анализируемых данных. В качестве материнской функции использовался вейвлет Морле:

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

Нами он выбран потому, что представляет собой гармоническую функцию, модулированную гауссианом, и хорошо приспособлен для анализа квазипериодических процессов [6]. Так как атмосферные вариации, являющиеся собственными колебаниями атмосферы [1], принято считать квазипериодическими, то использование вейвлета Морле позволяет наглядно представить результаты анализа и легко интерпретировать их в терминах анализа Фурье.

Модуль вейвлет-преобразования в случае комплексного вейвлета характеризует изменение во времени относительного вклада компонент различного масштаба в исследуемый сигнал, т.е. в каждый момент времени мы можем оценить интенсивность вариаций всех исследуемых временных масштабов.

На рис. 1, *а* представлен исходный трехлетний ряд концентрации аэрозоля, на рис. 1, *б*, *в* — его вейвлет-спектры для временных масштабов 2–52 сут и 2–26 ч соответственно. Окрашенные участки сечения соответствуют вариациям концентрации аэрозоля, превышающим уровень значимости с вероятностью 80%. По оси абсцисс отложено время в месяцах, по оси ординат — период (временной масштаб) вариаций в сутках (рис. 1, *б*) и в часах (рис. 1, *в*). Изолинии отмечают равные уровни интенсивности вариаций концентрации аэрозоля. Справа — шкала интенсивности, дающая представление об амплитудах вариаций. Анализ показал, что в спектре синоптических вариаций присутствуют значимые моды 4, 7, 14, 20 и 40 сут. Значимыми в спектре мезомасштабных вариаций наиболее часто являются моды 4, 6, 12 ч.

Были проанализированы Фурье-спектры рядов интенсивности вариаций концентрации аэрозоля с периодами 24 и 6 ч, 7 и 10 сут. Ряды интенсивности замечены путем вейвлет-преобразования исходного ряда концентрации аэрозоля для соответствующих масштабов и представляют собой сечение (рис. 1, *в*) в области масштабов, численно равных 24 и 6 ч, и сечение (рис. 1, *б*) в области масштабов 7 и 10 сут. Фурье-анализ показал, что интенсивность синоптических вариаций как концентрации призем-

ного аэрозоля, так и атмосферных параметров и концентрации газовых примесей модулируется сезонными гармониками — годовой и полугодовой, а интенсивность мезомасштабных вариаций модулируется как синоптическими, так и сезонными процессами. Расчеты глубины модуляции дают значение, превышающее 90%-й уровень значимости по критерию χ^2 [7].

Для аэрозоля период наибольшей интенсивности синоптических вариаций — зима. Для температуры периоды наибольшей интенсивности как синоптических, так и мезомасштабных вариаций — зима и лето, а суточных — только лето. Расчеты показали, что концентрации газовых примесей и скорость ветра имеют наибольшую интенсивность как синоптических, так и мезомасштабных вариаций с декабря по апрель. Интенсивность синоптических и мезомасштабных вариаций относительной влажности модулирует не только сезонный ход, но и его более высокие гармоники. Суточные вариации относительной влажности имеют высокую интенсивность в весенне-летний период.

Из сравнения вейвлет-представлений для аэрозоля, относительной влажности и скорости ветра видно, что структура вариаций аэрозоля имеет общие черты с представлениями вышеперечисленных величин. Для проверки меры связи временных вариаций исследуемых параметров был рассчитан коэффициент корреляции рядов интенсивности вариаций для различных масштабов. Ряды сформированы путем выбора соответствующей строки в матрице вейвлет-спектра. Коэффициент корреляции вейвлет-спектров интенсивности синоптических вариаций

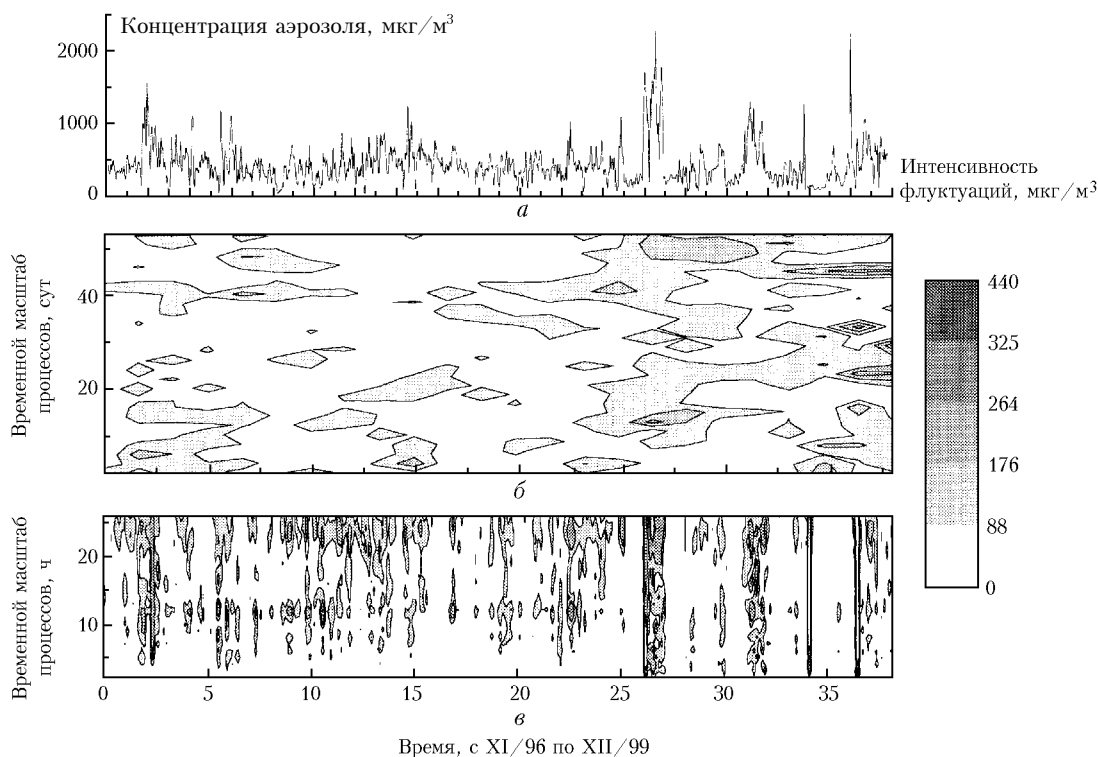


Рис. 1

концентрации аэрозоля и относительной влажности значим и равен 0,2–0,5. Для аэрозоля и скорости ветра коэффициент корреляции значим и положителен для вариаций с периодами 7, 10, 20 сут и равен 0,2–0,3, значим и отрицателен для вариаций с периодами от 20 до 40 сут и равен $-0,3 \div -0,5$. Для концентрации аэрозоля и концентрации NO₂ коэффициент корреляции значим и положителен для вариаций с периодами до 20 сут и равен 0,3, значим и отрицателен для вариаций с периодами больше 20 сут и равен $-0,2 \div -0,5$. Эти оценки показывают связь синоптических вариаций концентрации приземного аэрозоля с метеопараметрами и концентрацией малых газовых примесей. Интересно, что коэффициент корреляции вейвлет-спектров интенсивности синоптических вариаций концентрации NO₂ и скорости ветра значим и равен 0,3–0,7, что предполагает формирование поля концентрации NO₂ в основном за счет вариаций скорости ветра.

Сделаны оценки средних значений амплитуд вариаций различного масштаба для концентрации аэрозоля. При среднем значении массовой концентрации аэрозоля, равной 410 мкг/м³, годовой ход вносит наибольший вклад в общую дисперсию, его амплитуда равна 119 мкг/м³. Вторыми по вкладу в общую дисперсию являются суточные вариации, их средняя амплитуда равна 74 мкг/м³. Средний вклад мезомасштабных вариаций в общую изменчивость газовых примесей и аэрозоля составляет 16–20%, средняя амплитуда их 50 мкг/м³. В отдельные промежутки времени амплитуда мезомасштабных

вариаций может превышать амплитуду суточного хода в несколько раз.

Основные результаты работы:

1) интенсивность синоптических вариаций концентрации приземного аэрозоля модулируется гармониками годового хода;

2) интенсивность мезомасштабных и суточных вариаций концентрации аэрозоля модулируется как синоптическими, так и сезонными процессами.

Работа поддержана фондами: РФФИ (грант № 03-05-96211) и НИОКР РТ (0-9.5-165).

1. Гинзбург Э.И., Гуляев В.Г., Жалковская Л.В. Динамические модели свободной атмосферы. Новосибирск: Наука, 1987. 325 с.
2. MeduiUm-SENSOR GmbH. An ecological and measuring complex. Educational material for technical and warranty service. Parts 1. Berlin: GmbH, 1994. 500 p.
3. Хуторова О.Г., Тептин Г.М. Исследование мезомасштабных вариаций в тропосфере по наблюдениям концентрации примесей // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2001. Т. 37. № 6. С. 853–856.
4. Khoutorova O.G., Douryagin D.N., Vasilyev A.A., Korchagin G.E. Waves in air impurities and their influence on atmospheric optical properties // Atmos. Environ. 2001. V. 35. N 30. P. 5131–5134.
5. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физ. наук. 1996. Т. 166. № 11. С. 1145–1170.
6. Torrence G., Compo G.P. A Practical Guide to Wavelet Analysis // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1998. V. 79. N 1. P. 61–78.
7. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1971. 316 с.

Khutorova O.G., Teptin G.M. Seasonal changes in the spectrum of variation of the near-ground aerosol concentration.

Seasonal changes in the spectra of mesoscale and synoptic variations of the near-ground aerosol are studied using three-year measurements by a network of automated stations of atmospheric monitoring. The intensity of synoptic variations for aerosol concentration is modulated by seasonal harmonics, while the intensity of mesoscale variations is modulated by both synoptic and seasonal processes.