

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Одеський державний екологічний університет

**МЕТЕОРОЛОГІЯ, КЛІМАТОЛОГІЯ
ТА ГІДРОЛОГІЯ**

МІЖВІДОМЧИЙ НАУКОВИЙ ЗБІРНИК УКРАЇНИ

Заснований у 1965 р.

В И П У С К 49

Київ
КНТ
2005

УДК 530.182 : 551.510.42

А. В. ГЛУШКОВ, д-р физ.-мат. наук,

В. Н. ХОХЛОВ, канд. геогр. наук,

Ю. Я. БУНЯКОВА, асс.

Одесский государственный экологический университет

СТРУКТУРА ПОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА: СТОХАСТИЧНОСТЬ И ЭФФЕКТЫ ХАОСА

Рассмотрена теоретическая схема определения пространственно-временной структуры полей загрязнения воздуха в атмосфере промышленного города. Схема апробирована на данных по аэрозольным взвесям в атмосфере г. Одессы. На основе анализа эмпирических данных в рамках метода корреляционной размерности обнаружены стохастичность и эффекты хаоса в динамике и структуре поля загрязнения атмосферы промышленного города.

Постановка проблемы и анализ последних исследований. Одной из актуальных проблем современной физики атмосферы и окружающей среды является разработка новых эффективных схем определения структуры полей загрязнения в атмосфере в целом и в атмосфере промышленных городов, в частности (см., например [1-8]). В настоящее время с этой целью используется большое количество различных экспериментальных методов и одним из основных условий, предъявляемым к ним, является учет аэрозольных взвесей (частиц грунта, продуктов металлургического и другого производства, органических субстанций и т.д.), в связи с чем возникает класс задач, связанных с изучением основных характеристик соответствующих аэрозольных взвесей. В последние годы было показано, что частицы аэрозоля генерируются многими природными процессами (коагуляция частиц дыма, кластеры в облаках и т.д.) и обладают фрактальной структурой.

В этой статье развивается наша работа по разработке новых, эффективных, теоретически оптимальных технологических схем по определению пространственно-временной структуры поля загрязнения в атмосфере промышленных городов. **Основной целью исследования** является изучение основных характеристик поля загрязнения в атмосфере промышленного города, в связи с чем разработанный теоретический подход применяется для анализа данных по аэрозольным взвесям в г. Одессе. На основе метода корреляционной размерности, применяемого к эмпирическим данным, были обнаружены эффекты стохастичности и фрактальные особенности структуры поля запыленности воздуха.

Метод исследования. Отметим, что атмосфера, как и многие другие

физические, геофизические, биологические системы (и динамика изменений их основных свойств), может быть описана как механическая диссипативная многоуровневая система, которая, с принципиальной точки зрения, является нелинейной (см. [2-7]). Хорошо известно, что такие динамические диссипативные системы очень часто обладают параметрическими диапазонами, в которых их динамика является хаотической. Нелинейные системы обычно характеризуются долговременным режимом, описываемым аттрактором в фазовом пространстве. Для такой хаотической динамики детали часто являются неизвестными. Известно, что аттрактор называется странным, если он обладает нецелочисленной, т.е. фрактальной, размерностью. Нелинейные системы фрактальных объектов, такие как поверхности раздела или временные ряды, характеризуются тем, что их скейлинговые свойства сохраняются при увеличении. Для равномерных фракталов скейлинг однозначно описывается однофрактальным показателем степени, тогда как для неравномерных фракталов (мультифракталов) можно говорить о спектре фрактальных размерностей. Этот феномен обнаружен во многих системах [2].

В настоящей статье будет показано, что мультифрактальными особенностями характеризуется временная и пространственная структура поля запыленности атмосферы промышленного города. Наличие хаоса в динамике этого поля исследуется с помощью метода корреляционной размерности [3, 5, 7], которая отображает изменчивость или нерегулярность процесса и обеспечивает информацию о количестве доминантных переменных в эволюции соответствующей динамической системы. Она может указывать не только на наличие хаоса в процессе изменения запыленности (если это имеет место), но также и на то, является ли процесс детерминистическим или стохастическим, если хаос отсутствует.

Для различения хаотических и стохастических процессов в методе корреляционной размерности используется корреляционный интеграл. Применяемый в настоящем исследовании для оценки корреляционной размерности алгоритм Грассбергера-Прокаччия [3] использует концепцию восстановления фазового пространства. Для скалярного временного ряда X_i ($i = 1, 2, \dots, N$) фазовое пространство может быть восстановлено при помощи метода задержек в соответствии с

$$Y_j = (X_j, X_{j+\tau}, X_{j+2\tau}, \dots, X_{j+(m-1)\tau}), \quad (1)$$

где $j = 1, 2, \dots, N-(m-1)\tau/D\tau$; m – размерность вектора Y_j , также называемая размерностью вложения; τ – время задержки.

Для m -мерного фазового пространства, корреляционная функция $C(r)$ задается посредством

$$C(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i,j} H(r - |Y_i - Y_j|). \quad (2)$$

Здесь H – кусочно-постоянная функция Хевисайда

$$H(u) = \begin{cases} 1 & u > 0, \\ 0 & u \leq 0, \end{cases}$$

где $u = r - |Y_i - Y_j|$; r – радиус сферы с центром в Y_i или Y_j и $1 < i < j < N$.

Если временной ряд характеризуется аттрактором, то для положительных значений r корреляционная функция $C(r)$ соотносится с радиусом r , как $C(r) \sim ar^n$, где a – константа и n – корреляционный показатель степени или степень наклона линии на графике с координатными осями $\log C(r)$ и $\log r$.

Степень наклона линии обычно оценивается посредством подбора методом наименьших квадратов прямой линии в некотором диапазоне r , называемом область скейлинга. Наличие (или отсутствие) хаоса может быть определено при помощи графика, в котором координатными осями являются корреляционная и вложенная размерности. Если корреляционная размерность достигает предела, причем на небольшом значении, то система в целом рассматривается как выказывающая хаос с низкой размерностью. Значение упомянутого выше предела для корреляционной размерности определяется как корреляционная размерность аттрактора. Ближайшее целое число, большее значения предела, обеспечивает минимальное количество переменных, необходимых для моделирования динамики аттрактора. С другой стороны, если корреляционная размерность неограниченно увеличивается с возрастанием размерности вложения, рассматриваемая система может считаться стохастической.

Основные результаты исследования и выводы. Ниже представлены результаты применения метода корреляционной размерности к данным запыленности в г. Одессе, что позволило обнаружить хаотичность и фрактальные особенности в структуре таких полей. Сначала исследуем изменчивость временных рядов указанной характеристики на различных временных масштабах. При этом используются данные за более чем 20-летний период наблюдений с разрешением 1 сутки, 1 неделя, 15 суток и 1 месяц. В основе исследования лежит предположение, что отдельное поведение динамики процесса на указанных временных масштабах обеспечивает нас важными сведениями о динамике преобразования данных о запыленности между этими масштабами. Конкретнее, если процессы изменчивости запыленности на различных масштабах указывают на хаотический режим, то динамика преобразования между ними также может быть хаотической. На рис. 1 показаны изменения концентрации пыли в г. Одессе с 1976 по 2003 г.

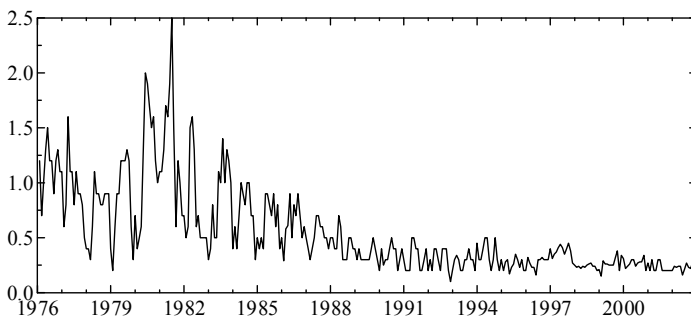


Рис. 1 - Изменения концентрации пыли в г. Одессе в 1976-2003 гг.

Статистические характеристики этого временного ряда приведены в табл. 1. Корреляционные функции и показатели степени рассчитывались для четырех временных рядов с разным временным разрешением. Время задержки τ для восстановления фазового пространства вычислялось при помощи метода автокорреляционной функции – оно равняется времени запаздывания, на котором автокорреляционная функция первый раз пересекает линию $Y = 0$.

Таблица 1 - Статистические характеристики временного ряда концентрации пыли в г. Одессе за период с 1976 по 2003 гг.

Статистическая характеристика	Величина
Минимальное значение	0,1
Максимальное значение	2,5
Среднее	0,55
Медиана	0,40
Среднеквадратическое отклонение	0,396
Среднее абсолютное отклонение	0,307
Дисперсия	0,025
Асимметрия	1,609
Эксцесс	2,608

Для среднесуточных данных о концентрации пыли на рис. 2 показано отношение между корреляционной размерностью n и размерностью вложения m . Отметим, что для всех временных масштабов корреляционная размерность увеличивается с возрастанием размерности вложения, достигая определенного значения, после которого практически не изменяется. Последнее может служить подтверждением существования детерминистической динамики.

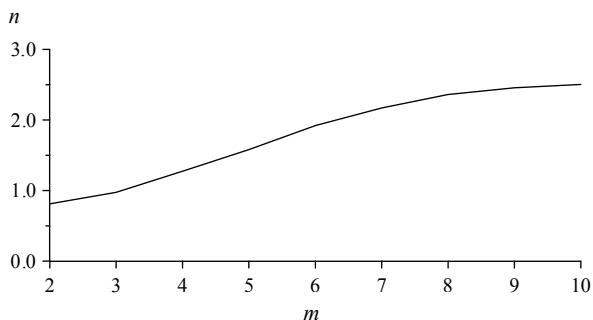


Рис. 2 - Соотношение между корреляционной и вложенной размерностями для среднесуточных данных в 2000-2002 гг.

Предельные значения корреляционной размерности для четырех указанных выше временных масштабов составили 2,72, 3,42, 4,15 и 5,92. Последнее из этих значений говорит о том, что для случая среднемесячных концентраций имеет место хаос высокой (но не очень) степени. Считается, что если $n \geq 8$, то динамику хаотической системы определить или предсказать крайне трудно. Наличие хаоса для каждого из четырех временных рядов говорит о том, что динамика преобразования содержания пыли между временными масштабами также должна быть хаотической. Это, в свою очередь, означает, что можно применять хаотический подход для анализа и прогноза как эволюции временных рядов запыленности, так и передачи этого компонента от одного масштаба к другому.

Обнаруженные особенности также позволяют сделать вывод о фрактальных свойствах временных рядов запыленности, как это указывается в [7]. Последнее, в свою очередь, делает возможным использовать выявленные эффекты для решения многих прикладных задач, в частности для создания системы дистанционного лазерного зондирования степени загрязненности окружающей среды.

Литература

1. Зуев В.Е., Землянов А.А, Копытин Ю.Д. Нелинейная оптика атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1989.
2. Grassberger P., Procaccia I. Measuring the strangeness of strange attractors // Physica D. – 1983. – Vol. 9. – P. 189-208.
3. Havstad J.W., Ehlers C.L. Attractor dimension of nonstationary dynamical systems from small data sets // Phys. Rev. A.-1989.-Vol. 39. – P. 845-853.

4. *Berndtsson R., Jinno K., Kawamura A., Olsson J. and Xu S.* Dynamical systems theory applied to long-term temperature and precipitation time series // Trends in Hydrol. – 1994. – Vol. 1. – P. 291-297.

5. *Khokhlov V.N., Glushkov A.V., Tsenenko I.A.* Atmospheric teleconnection patterns and eddy kinetic energy content: wavelet analysis // Nonlin. Proc. Geophys. – 2004. – Vol. 11. – P. 285-293.

6. *Glushkov A.V., Khokhlov V.N., Loboda N.S., Ponomarenko E.L.* Computer modelling the global cycle of carbon dioxide in system of atmosphere-ocean and environmental consequences of climate change // Environ. Inf. Arch. – 2003. – Vol. 1. – P. 125-130.

7. *Mandelbrot B.B.* Fractal geometry of nature. – N.Y.: W.H. Freeman, 1982.

8. *Глушков А.В., Хохлов В.Н., Бунякова Ю.Я.* Ренорм-групповой подход к исследованию спектра турбулентности в атмосфере // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2004. – Вип. 48. – С. 296-292.

SUMMARY

A. V. Glushkov, V. N. Khokhlov, Yu. Ya. Bunyakova
AIR POLLUTION FIELD STRUCTURE IN THE INDUSTRIAL CITY'S ATMOSPHERE: STOCHASTICITY AND EFFECTS OF CHAOS

A new scheme for sensing temporal and spatial structure of the air pollution fields in the industrial city's atmosphere is considered and applied to an analysis of the Odessa atmosphere aerosol component data. Effects of stochasticity and chaotic features in the dusty air pollution field structure are discovered on the basis of the correlation dimension approach to empirical data.

Поступила 2.02.2005