DOI: 10.17117/na.2016.07.02.064

Поступила (Received): 24.07.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.07.02.064.pdf>

Иванова Э.В.

Динамика загрязнения атмосферы г. Томска

Ivanova E.V.

Air pollution dynamics in Tomsk

В данной работе используются временные ряды, каждый член которых представляет собой осредненную за некоторый промежуток времени концентрацию примеси (КП). При этом масштаб осреднения изменяется от нескольких минут до нескольких лет. Предлагается модель разложения временных рядов срочных значений КП на составляющие по масштабному признаку. Принцип разложения ряда заключается в предположении, что значения КП, порожденные процессами меньшего масштаба колеблются около величин, сформированных процессами большего масштаба. Выявлено, что наибольшие изменения концентрации всех рассмотренных загрязнителей в основном определяются внутрисуточными и внутримесячными масштабами колебаний. Так, дисперсия концентрации оксида углерода на 85-98% обусловлена указанными масштабами. Из крупномасштабных составляющих (внутригодовой, межгодовой и трендовой) наибольший вклад в общую дисперсию вносит внутригодовая составляющая. Роль вкладов межгодовой и трендовой составляющих меняется как в зависимости от вида загрязнителя, так и от суммарного действия последних, находящихся, очевидно, в специфической структурной зависимости между собой

Nowadays the problem of the forecast and the diagnosis of the air pollution for different temporal intervals is very urgent. This paper concerns the estimation of possible air pollution conditions and the detection of their dynamics where temporal series are used, every member of them represents the average contamination concentration for a certain period of time. The averaging scale changes from several minutes to several years.

We suggest the model of decomposition of temporal series of immediate values into components according to the scale characteristic. The mode of series decomposition consists in the precondition that contaminant concentration values generated by the minor scale processes vary at values generated by the greater scale processes. So, the average annual contaminant concentration values fluctuate near the longterm trend, the average monthly values fluctuate near the average annual value, the average daily values fluctuate near the average monthly ones e.t.c. The results analysis allows to specify that the most concentration changes of all studied pollutants are defined by the daily and monthly fluctuations scale. The carbon oxide dispersion is 85-95% conditional upon the given scales. The daily and monthly dust concentration dispersion changes have the same effect. Depending on the area it can be 72-83%. These components give the smallest contribution to the sulfur dioxide change (58-67%). It also should be noted that the share of monthly changes is 1,5 times higher than the share of daily fluctuations besides the carbon oxide. If the pollution regime during a month and far less during a day remains stable, it follows that the dispersion phenomena i.e. weather conditions play the leading role in the contaminant concentration variability. It's known that the weather variability from day to day is higher than within 24 hours. The largest contribution into the general dispersion belongs to the annual compound. The role of the contributions of inter-annual and trend compounds varies depending both on a pollutant and on synergism

Key words: dynamics, concentration, component, scale

Ключевые слова: динамика, концентрация примеси, составляющие, масштаб

Иванова Элла Владимировна

Научный сотрудник, старший преподаватель
Институт мониторинга климатических и
экологических систем СО РАН
Томский государственный архитектурно-
строительный университет
г. Томск, п. Академический, 10/3
г. Томск, пл. Соляная, 3

Ivanova Ella Vladimirovna

Researcher, Senior teacher
Institute of monitoring of climatic and ecological
systems SB RAS
Tomsk state university of architecture and building
Tomsk, Academic ave., 10/3
Tomsk, Solyanaya sq., 3

В настоящее время чрезвычайно актуальна задача прогноза и диагноза загрязнения атмосферы для различных интервалов времени от суток до нескольких лет. Здесь под мониторингом понимается система слежения за какими-то объектами и явлениями в приложении к окружающей среде, состоящая из четырех уровней:

1. наблюдений за состоянием окружающей среды;
2. оценки изменения состояния (качества) среды;
3. прогноза возможных изменений качества среды;
4. выработка природоохранных или иных мероприятий по снижению влияния неблагоприятных воздействий на окружающую среду и человека.

Переход к следующему уровню возможен только после выполнения предыдущих уровней. Переход на последние два уровня, являющимися основными, невозможен без выявления изменений в окружающей среде. Эта задача не является простой в связи с тем, что изменения среды происходят постоянно и являются следствием работы как естественных, так и антропогенных факторов. Поэтому в задачи второго уровня входит не только слежение за состоянием и изменением окружающей среды, но и выявление особенностей наблюдаемых изменений и оценка степени их аномальности. Необходим также анализ причин аномальности и масштабов, как пространственных так и временных, предстоящих изменений среды.

О сложности задачи выявления изменений, происходящих в окружающей среде, можно судить по приведенному здесь временному ходу концентрации пыли в атмосфере г. Томска. Без специальных методов обработки невозможно сказать не только о причинах такого поведения во времени, но и о степени аномальности каждого года, тенденциях к изменению и т.д. В качестве примера приведена лишь межгодовая изменчивость, в тоже время изменения концентрации отмечаются также внутри года, внутри месяца, внутри суток. Учитывая, что разный масштаб изменчивости определяется процессами разного масштаба и характера, необходимо установить наиболее важную, с точки зрения влияния на окружающую среду, компоненту.

Для оценки возможных состояний загрязнения атмосферы и выявлению их динамики используют временные ряды. Каждый член временных рядов представляет собой осредненную за некоторый промежуток времени концентрацию примеси (КП). При этом масштаб осреднения, в зависимости от задачи исследования или характера примеси, может изменяться от нескольких минут до нескольких лет. Если считать, что каждый член временного ряда КП является измеренным или рассчитанным результатом «работы» нескольких процессов, имеющих разный временной масштаб, то для изучения влияния этих процессов

на поведение КП необходимо разложить ряды на составляющие по признаку временного масштаба. При этом предполагается, что масштаб члена ряда, полученный после разложения составляющей, должен соответствовать временному масштабу порождающего ее процесса.

Фактически большая часть традиционной теории временных рядов посвящена анализу, основанному на разложении данных на составляющие и дальнейшему их отдельному изучению. Однако, из того, что ряд можно представить как сумму составляющих вовсе не следует, что процессы, формирующие эти составляющие действуют независимо [1,2].

В математике широко используется методы разложения рядов на составляющие по некоторой системе ортогональных и нормированных (ортонормированных) функций. Применяют разложение функций по различным ортонормированным системам: разложение в тригонометрический ряд Фурье, разложение в ряд Фурье-Бесселя по системе функций Бесселя, разложение по различным ортогональным полиномам – Чебышева, Эрмита и другим. Метод разложения по ортонормированной системе функций можно применять и к случайным функциям. Разложение по естественным ортогональным составляющим обладает хорошей скоростью сходимости, что нашло широкое применение при описании статистической структуры геофизических и метеорологических полей [3]. Тем не менее, физическая интерпретация каждой ортогональной составляющей затруднена.

В этой связи нами предлагается модель разложения временных рядов срочных значений КП на составляющие по масштабному признаку. Принцип разложения ряда заключается в предпосылке, что значения КП, порожденные процессами меньшего масштаба колеблются около величин, сформированных процессами большего масштаба. Так, среднее годовое значение КП совершает колебания около долговременного тренда, средние месячные значения колеблются около средней годовой величины, средние суточные значения КП совершают флуктуации относительно средних месячных и т.д.

Тогда срочное значение КП (Q_{gmds}) можно представить как:

$$Q_{gmds} = Q_{tr} + Q'_g + Q'_{gm} + Q'_{gmd} + Q'_{gmds} \quad (1)$$

где индексы g, m, d, s указывают на год, месяц, день и срок соответственно, первое слагаемое в правой части $Q_{tr,g}$ – величина долговременного тренда КП, Q'_g – отклонения среднего годового значения КП от долговременного тренда, Q'_{gm} – отклонения средних месячных значений КП от средних годовых величин, Q'_{gmd} – отклонение средних суточных значений от внутримесячного тренда, Q'_{gmds} – отклонение срочного значения КП от его средней суточной величины.

Долговременный тренд представляется временным рядом, полученным в результате реализации некоторой гладкой функции $Q_{tr,g} = f(g)$ для $g=1, 2, \dots, N$, где g – порядковый номер года. Таким образом, каждый член ряда, представляющего долговременный тренд, как и величина Q'_g имеет масштаб осреднения в один год. Масштаб осреднения члена ряда Q'_{gm} составляет один месяц, член ряда

Q'_{gmd} имеют масштаб осреднения в сутки, масштаб осреднения членов ряда Q'_{gmds} характеризуется временем взятия пробы воздуха.

Разложение ряда на компоненты осуществляется по следующей схеме: для каждого календарного года, месяца и дня определяется путем осреднения значения Q_g , Q_{gm} и Q_{gmd} . Используя значения ряда Q_g определяется долговременный тренд $Q_{tr,g}$ и находится разность $Q'_g = Q_g - Q_{tr,g}$. Ряд Q'_{gm} получается как разность между рядами Q_{gm} и Q_g . Операция $Q_{gmd} - Q_{gm}$ приводит к формированию ряда Q'_{gmd} . Наконец, временной ряд Q'_{gmds} определяется как $Q_{gmds} - Q_{gmd}$.

При таком способе разложения составляющие исходного временного ряда не коррелированы относительно друг друга. Средние значения составляющих, кроме долговременного тренда равны нулю. Дисперсия исходного ряда D_{gmds} (общая дисперсия) равна сумме дисперсий составляющих.

$$D_{tr,gmds} = D_{tr} + D_g + D_{gm} + D_{gmd} + D_{gmds} \quad (2)$$

Кроме значения концентрации примесей по формуле (1) могут быть разложены временные ряды вероятности загрязнения (ВЗА) атмосферы. Однако при этом необходимо учитывать, что измерения концентрации загрязнителей производится только три раза в сутки, поэтому последние три слагаемые в выражении (1) теряют смысл. Поэтому масштаб осреднения исходного ряда ВЗА составляет месяц, использовать меньший масштаб осреднения для выявления поведения рядов ВЗА нецелесообразно. При этом выражение (1) переписется в виде:

$$W_{gm} = W_{tr,g} + W'_g + W'_{gm}, \quad (3)$$

где : индексы g , m указывают на год, месяц соответственно; $W_{tr,g}$ – величина долгопериодного тренда ВЗА, W'_g – отклонения значения вероятности загрязнения атмосферы за календарный год от долгопериодного тренда; W'_{gm} – отклонения ВЗА за календарный месяц от ВЗА за этот же год.

На первом этапе для выявления наиболее «важной» составляющей достаточно вычислить вклад этой составляющей в общую дисперсию.

Таблица 1. Доли дисперсии (%) составляющих временных рядов концентрации загрязнения атмосферы г. Томска оксидом углерода

Характеристики составляющих ряда	Номер измерительного пункта			
	ПНЗ 2	ПНЗ 5	ПНЗ 7	ПНЗ 11
Полная дисперсия D_o	0.7828	2.7607	0.7894	0.3004
Масштабы изменчивости, %: внутрисуточный D_s	47.84	52.04	47.67	42.75
внутримесячный D_d	44.22	40.53	43.73	45.67
внутригодовой D_m	4.93	3.84	6.57	7.78
межгодовой D_g	2.72	3.58	2.03	3.62
долгопериодный D_t	0.29	0.01	0.00	0.17
сумма	100	100	100	100

В табл. 1-4 приведены результаты разложения рядов срочных значений концентрации загрязнения атмосферы г. Томска для четырех загрязнителей. Используя эту информацию можно выработать представление о вкладе различных по временным масштабам процессов в колебания загрязнений в атмосфере города.

Таблица 2. Доли дисперсии (%) составляющих временных рядов концентрации загрязнения атмосферы г. Томска диоксидом азота

Характеристики составляющих ряда	Номер измерительного пункта			
	ПНЗ 2	ПНЗ 5	ПНЗ 7	ПНЗ 11
Полная дисперсия Do	0.00094	0.00342	0.00262	0.00060
Масштабы изменчивости, %: внутрисуточный Ds	31.06	41.93	32.09	34.21
внутримесячный Dd	54.50	36.50	40.21	58.07
внутригодовой Dm	10.64	6.93	26.87	6.54
межгодовой Dg	0.15	0.96	0.32	0.41
долгопериодный Dt	3.66	13.70	0.51	0.78
сумма	100	100	100	100

Таблица 3. Доли дисперсии (%) составляющих временных рядов концентрации загрязнения атмосферы г. Томска пылью

Характеристики составляющих ряда	Номер измерительного пункта			
	ПНЗ 2	ПНЗ 5	ПНЗ 7	ПНЗ 11
Полная дисперсия Do	0.0709	0.3334	0.0627	0.0590
Масштабы изменчивости, %: внутрисуточный Ds	37.01	35.72	39.23	33.44
внутримесячный Dd	52.66	41.35	49.33	56.49
внутригодовой Dm	9.99	18.14	11.30	9.94
межгодовой Dg	0.29	4.76	0.05	0.04
долгопериодный Dt	0.05	0.04	0.04	0.09
сумма	100	100	100	100

Таблица 4. Доли дисперсии (%) составляющих временных рядов концентрации загрязнения атмосферы г. Томска диоксидом серы

Характеристики составляющих ряда	Номер измерительного пункта			
	ПНЗ 2	ПНЗ 5	ПНЗ 7	ПНЗ 11
Полная дисперсия Do	0.00110	0.00163	0.00176	0.00156
Масштабы изменчивости, %: внутрисуточный Ds	25.14	22.54	20.26	20.39
внутримесячный Dd	49.83	44.48	41.67	44.86
внутригодовой Dm	15.37	19.31	20.26	17.02
межгодовой Dg	0.37	0.15	2.51	1.03
долгопериодный Dt	9.29	13.52	15.30	16.71
сумма	100	100	100	100

Анализ табл. 1-4 позволяет установить, что наибольшие изменения концентрации всех рассмотренных загрязнителей в основном определяются внутрисуточными и внутримесячными масштабами колебаний. Так, дисперсия концентрации оксида углерода на 85-98% обусловлена указанными масштабами.

Практически такой же вклад вносят внутрисуточные и внутримесячные изменения в общую дисперсию концентрации пыли, в зависимости от района этот вклад составляет 72-83%. Из рассмотренных загрязнителей наименьший вклад эти составляющие вносят в изменчивость диоксида серы (58-67%). Также отмечается, что для всех ингредиентов, кроме оксида углерода, доля внутримесячных изменений выше почти в полтора раза, чем доля внутрисуточных колебаний. Если предположить, что режим выбросов в течение месяца, а тем более в течение суток остается постоянным, то из распределения дисперсий между внутрисуточной и внутримесячной составляющими вытекает, что ведущую роль в изменчивости концентрации примесей играют процессы рассеяния, т.е. погодные условия. Известно, что изменчивость погоды от дня ко дню выше, чем внутри суток.

Из крупномасштабных составляющих (внутригодовой, межгодовой и трендовой) наибольший вклад в общую дисперсию вносит внутригодовая составляющая. Роль вкладов межгодовой и трендовой составляющих меняется как в зависимости от вида загрязнителя, так и от суммарного действия последних, находящихся, очевидно, в специфической структурной зависимости между собой.

Список используемых источников:

1. Кандал М. Дож., Стюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976. 736 с.
2. Казакевич Д.И. Основы теории случайных функций в задачах гидрометеорологии. Л.: Гидрометиздат, 1989. 230 с.