

Моделирование опасных событий, связанных с загрязнением атмосферного воздуха в городах

Звягинцева А.В.

Донецкий национальный технический университет
Zviagintseva@cs.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Zviagintseva A. "Modelling of dangerous occurrences, related to atmospheric air pollution in cities". The algorithm of dangerous occurrences modelling, related to atmospheric air pollution in cities is offered. It is shown that a risk estimation on the average annual concentrations of harmful matters in the high dispersion variation case information on atmosphere pollution does not give the reliable estimation of the real negative affecting on the people.

Введение

В последние годы наблюдается рост уровня загрязнения атмосферы в промышленных городах Донецкой области. В 2007 году в Донецке возросло загрязнение атмосферы диоксидом азота, фенолом, аммиаком и формальдегидом. Практически за год состояние загрязнения атмосферы по четырехбальной шкале, принятой в Украине ("норма", "риск", "кризис", "бедствие"), перешло из категории "кризис" в категорию "бедствие". При достаточно высоком среднем уровне загрязнения атмосферы часто наблюдаются крайне опасные события, когда концентрация вредных веществ превышает в несколько раз предельно допустимую максимальную концентрацию. Такие события наблюдаются при загрязнении атмосферного воздуха диоксидом азота, пылью и иногда формальдегидом. Для примера на рисунке 1 приведен временной ряд среднесуточных концентраций диоксида азота в атмосфере города Макеевка по данным наблюдения на 13 посту контроля.

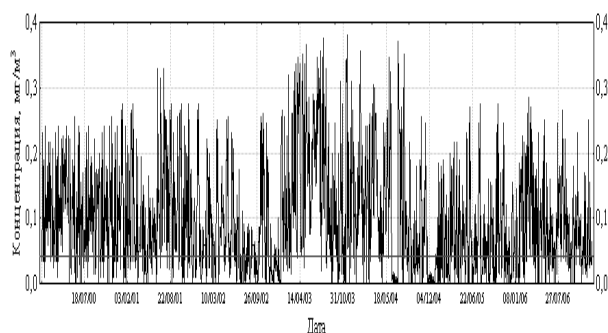


Рисунок 1 – Динамика концентрации диоксида азота на 13 посту города Макеевки

Из приведенного рисунка видна высокая дисперсия, характеризующая разброс данных около среднего уровня.

Сегодня моделирование опасных событий, связанных с загрязнением атмосферного воздуха в городах, является одной из актуальных задач экологической безопасности, так как именно эти события определяют уровень заболеваемости населения болезнями верхних дыхательных путей.

С целью построения моделей опасных событий, связанных с загрязнением атмосферного воздуха в промышленных городах, был проведен сбор экспериментальных данных по приоритетным вредным веществам, характеризующим загрязнение атмосферы. Выбор объектов исследования и определение необходимого объема статистических данных осуществлялись, исходя из необходимости наиболее полной оценки качества атмосферы.

Анализ данных основывался на результатах наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, которые проводятся Донецким областным центром по гидрометеорологии (Гидрометеоцентр). Данный субъект экологического мониторинга осуществляет продолжительные и регулярные наблюдения за качеством атмосферы в ряде промышленных городов Донецкой области. Информация, предоставленная Комплексными лабораториями наблюдения за загрязнением природной среды Гидрометеоцентра (г.Донецк и г.Мариуполь), позволила получить данные о среднесуточных концентрациях по основным загрязнителям атмосферного воздуха на всех контрольных постах городов Донецк, Макеевка и Мариуполь.

В массив экспериментальных данных, собранных по городам Донецкой области, вошли данные среднесуточных концентраций вредных веществ по следующим ингредиентам: аммиак, диоксид азота, оксид азота, диоксид серы, фенол, пыль, оксид углерода, формальдегид, сероводород, свинец, цинк, марганец и хром. Временные ряды данных сформированы на основе замеров, выполненных на контрольных постах Гидрометеоцентра в течение восьми лет с 01.01.2000 по 31.12.2007. После обработки массивов данных о концентрациях вредных

веществ по всем постам наблюдения за указанный период скомпонована база данных, включающая по городам Донецк, Макеевка и Мариуполь около 275 тыс. наблюдений.

Статистическая информация собиралась в виде текстовых файлов в формате, используемом в гидрометеослужбе, для каждого месяца года по 15 постам наблюдения. Данные файлов Гидрометеоцентра по концентрациям вредных веществ в течение суток (по 2 – 4 замера) усреднялись и представлялись в виде среднесуточных концентраций. Полученная информация была отсортирована, верифицирована, усреднена и сохранена более чем в 930 файлах. Данные представляют собой временные ряды с шагом 1 сутки для среднесуточных значений контролируемых ингредиентов. Исходные файлы данных обработаны в соответствии с требованиями Руководства по контролю загрязнения атмосферы [1] и занесены в базу данных.

Исследование загрязнения атмосферы промышленных городов основывалось на статистическом анализе собранных экспериментальных данных. В результате первичной обработки данных [2] были определены статистические характеристики временных рядов среднесуточных концентраций вредных веществ для контрольных постов и объектов в целом, проведена оценка пределов варьирования переменных, сделан анализ резко выделяющихся наблюдений и определена вероятность превышения предельно допустимой концентрации $ПДК_{с.с.}$ и $ПДК_{м.р.}$ для контрольных постов наблюдений.

В процессе первичной обработки данных выполнена проверка однородности исходных данных и исследованы законы распределения для основных исследуемых параметров. Вся первичная статистическая обработка проведена с использованием программного продукта Statistica и статистических библиотек системы Matlab.

При анализе загрязнения атмосферы были изучены следующие законы распределения возникновения опасных событий: нормальный, логарифмически-нормальный, экспоненциальный, Вейбулла и гамма-распределение.

Анализ экспериментальных функций распределения проводился для наиболее опасных ингредиентов, для которых на контрольных постах по наблюдениям за последние годы присутствовало превышение среднегодовых концентраций над безопасными уровнями.

Методика выбора опасных ингредиентов основывалась на оценке значений среднегодовых концентраций и вероятностях превышения $ПДК_{с.с.}$ и $ПДК_{м.р.}$ для соответствующих временных рядов вредных веществ.

При анализе опасных событий использовались только данные, для которых среднесуточные концентрации соответствующих ингредиентов превышали $ПДК_{с.с.}$. С этой целью из временных рядов концентраций вредных веществ удалялись данные, для которых среднесуточные концентрации были меньше допустимых норм ($C < ПДК_{с.с.}$).

Изучение законов распределений опасных концентраций вредных веществ проводилось путем сравнения фактического распределения частот с теоретическими распределениями. Для этой цели использовался критерий Пирсона.

В соответствии с проведенным анализом был сделан вывод о том, что для большинства приоритетных вредных веществ распределение опасных концентраций подчиняется логарифмически-нормальному закону.

Для примера на рисунке 2 приведены гистограммы и кривые распределения плотности вероятности для основных опасных ингредиентов, загрязняющих атмосферу и контролируемых в городе Донецк.

В процессе экспериментальных исследований были установлены следующие статистические закономерности.

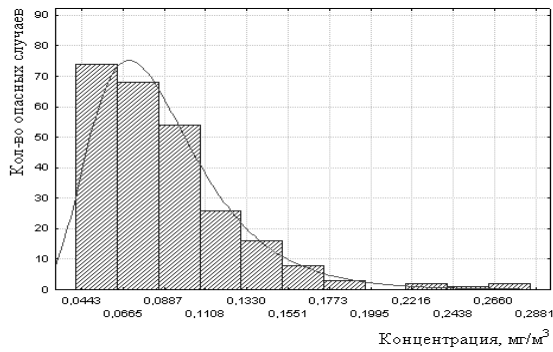
1. В случае превышения $ПДК_{с.с.}$ для большинства ингредиентов закон распределения опасных среднесуточных концентраций является преимущественно логарифмически-нормальным. При принятом критическом уровне значимости 0,05, вероятность согласия нулевой гипотезы (H_0 : генеральная совокупность распределена по логарифмически-нормальному закону) с данными наблюдений составляет по Донецку $0,05 \div 0,85$, по Макеевке $0,05 \div 0,89$, по Мариуполю $0,05 \div 0,90$.

2. На постах, расположенных вблизи крупных источников выбросов, наблюдаются отдельные случаи отклонения распределений среднесуточных концентраций вредных веществ от логарифмически-нормального закона.

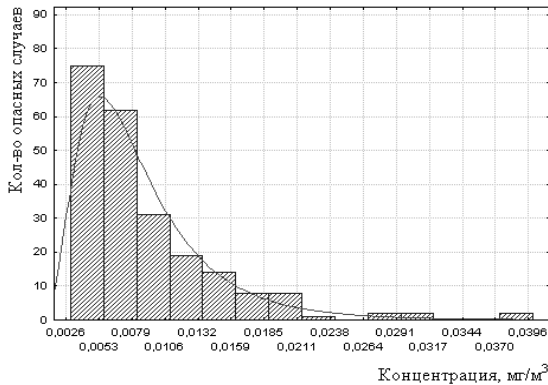
3. При увеличении вероятности превышения $ПДК_{с.с.}$ значимость согласия гипотезы H_0 с данными наблюдений увеличивается.

Таким образом, с учетом установленных закономерностей вероятностные распределения опасных концентраций вредных веществ на каждом посту ($X_i = C > ПДК_{с.с.}$) могут быть смоделированы генератором случайных чисел, реализующим логарифмически-нормальный закон распределения.

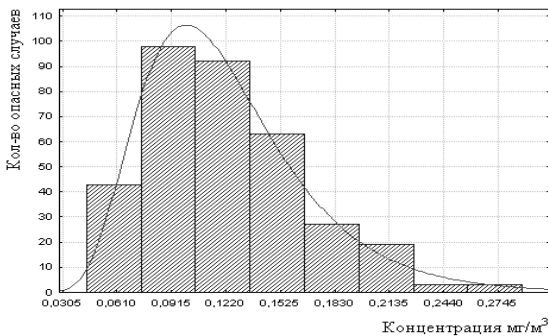
Для моделирования опасных событий загрязнения атмосферы был разработан имитационный алгоритм, который включал в себя организацию двух потоков событий.



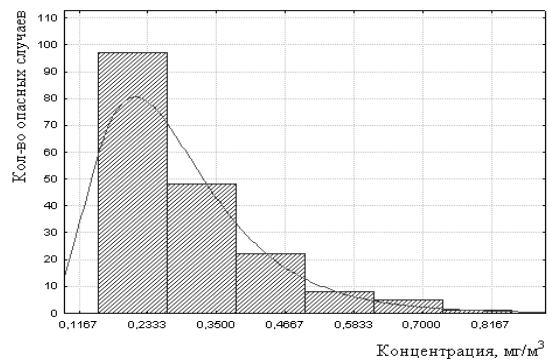
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2 – Гистограммы и кривые распределения плотности вероятности для опасных концентраций вредных веществ, загрязняющих атмосферу города Донецк:

а) – для аммиака (пост №14, 2001 г.); б) – для формальдегида (пост №7, 2004 г.); в) – для диоксида азота (пост №9, 2005 г.); г) – для пыли (пост №2, 2003 г.).

С учетом известной вероятности возникновения опасных событий на каждом контрольном посту определялось количество дней в году с опасным и неопасным уровнями загрязнения воздуха ($C > ПДК_{с.с.}$ и $C \leq ПДК_{с.с.}$). В случае неопасного события концентрация вредного вещества моделировалась равномерно распределенным генератором *unifrnd* в пределах от $C = 0$ до $C = ПДК_{с.с.}$. Для опасного события использовались статистические распределения логарифмически-нормального вида. Для задания данного вида распределения применялись М-функции системы *Matlab lognrnd(a, σ)*. Блок-схема генератора распределения концентраций для указанных выше вредных веществ приведена на рисунке 3.

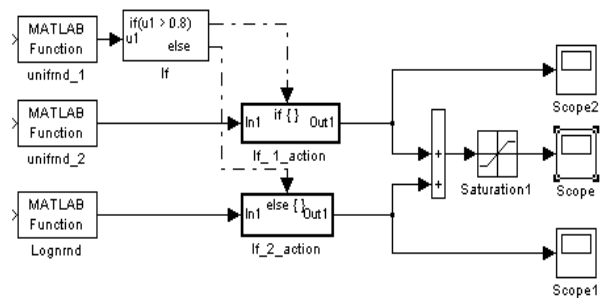


Рисунок 3 – Блок-диаграмма генератора распределения концентраций вредных веществ.

Для оценки вероятности возникновения опасных событий для каждого города был проведен регрессионный анализ зависимости вероятности возникновения опасного события от среднегодовой концентрации вредного вещества ($C_{ср.г.}$). Было установлено, что регрессионное уравнение, характеризующее данную зависимость, имеет вид:

$$P_{ПДК} = 1 - \beta \cdot \exp\left(-\alpha \frac{C_{ср.г.}}{ПДК_{с.с.}}\right). \quad (1)$$

Задание различных значений среднегодовых концентраций вредного вещества позволяет изучать сценарии развития ситуаций с загрязнением атмосферы.

На рисунке 4 для г. Донецк обобщены результаты обработки данных согласно зависимости (1) для диоксида азота. В свою очередь, значения коэффициентов α и β уравнения (1) приведены в таблице 1.

Задание параметров логарифмически-нормального распределения a и σ осуществлялось следующим образом.

Среднеквадратичное отклонение концентрации вредного вещества σ для каждого контрольного поста принималось с учетом статистических данных о загрязнении атмосферы

городов Донецк, Макеевка и Мариуполь за последние восемь лет.

Среднее значение опасных концентраций вредных веществ определялось на основе проведения регрессионного анализа связи этой величины со среднегодовой концентрацией.

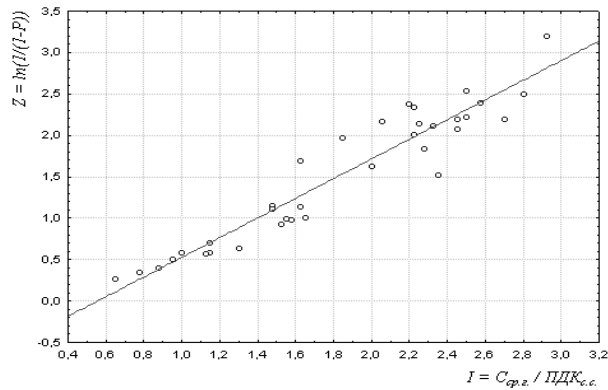


Рисунок 4 – Зависимость вероятности возникновения опасных событий, связанных с превышением $ПДК_{с.с.}$, от среднегодовой концентрации ($C_{ср.г.}$) для диоксида азота в Донецке

Регрессионное уравнение, характеризующее данную зависимость, имеет линейный вид:

$$C_{опасн.} = a + b \cdot C_{ср.г.} \quad (2)$$

Соответствующие коэффициенты a и b приведены в таблице 1. Коэффициенты корреляции уравнений (1) и (2) лежат в пределах от 0,83 до 0,92.

Таблица 1. Значения коэффициентов уравнений (1) и (2) для характеристики опасных событий при загрязнении атмосферы г. Донецк

Вредные вещества	Коэффициенты уравнений (1) и (2)			
	β	α	a	b
Диоксид азота	1,938	1,188	0,057	0,532
Пыль	0,872	0,676	0,187	0,677
Аммиак	1,808	1,215	0,046	0,485
Формальдегид	1,121	0,5677	0,0036	0,8982

Прогнозирование ситуации с загрязнением атмосферы в промышленных городах проводилось в зависимости от среднегодовых концентраций вредных веществ на перспективу 5 ÷ 10 лет. При этом считалось, что дисперсии в логарифмически нормальных распределениях не меняются и остаются на уровне 2007 г. Среднегодовые концентрации вредных веществ линейно изменялись от уровней 2007 года до соответствующих значений, наблюдаемых в 1985 – 1989 годах, когда уровень промышленного производства в городах был наиболее высоким.

Например, в городе Донецк в 1985 – 1989 гг. по данным Гидрометеоцентра [3] среднегодовая

концентрация пыли изменялась от 0,5 до 0,9 $мг/м^3$, диоксида азота – от 0,07 до 0,11 $мг/м^3$.

Проверка достоверности и адекватности разработанных моделей осуществлялась сопоставлением полученных в вычислительных экспериментах среднегодовых концентраций с задаваемыми величинами и визуальным сравнением реальных временных рядов концентраций вредных веществ с моделируемыми рядами [2].

С учетом разработанной модели и существующих методик оценки неблагоприятных воздействий на население выполнен анализ риска загрязнения атмосферного воздуха в городах Донецк, Макеевка и Мариуполь.

Для примера результаты прогноза риска воздействий на население с учетом моделирования опасных событий для города Донецк приведены в таблице 2.

Таблица 2. Данные прогнозирования риска хронических воздействий диоксида азота и пыли при загрязнении атмосферы г. Донецк

Диоксид азота				
$C_{ср.г.}, мг/м^3$	0,05	0,07	0,09	0,11
<i>Risk</i>	$3,90 \cdot 10^{-3}$	$6,88 \cdot 10^{-3}$	$1,06 \cdot 10^{-2}$	$1,50 \cdot 10^{-2}$
Пыль				
$C_{ср.г.}, мг/м^3$	0,4	0,6	0,8	
<i>Risk</i>	$2,52 \cdot 10^{-2}$	$5,06 \cdot 10^{-2}$	$9,28 \cdot 10^{-2}$	

Как показывает анализ, риск загрязнения атмосферы при учете наличия опасных событий существенно увеличивается. Например, при среднегодовой концентрации оксида азота 0,09 $мг/м^3$ риск воздействий на население без учета опасных событий составляет $0,92 \cdot 10^{-2}$, а с учетом опасных событий $1,06 \cdot 10^{-2}$. При населении города Донецк 1001 тыс. человек это дает около 1000 дополнительных случаев заболеваемости населения, связанных с загрязнением атмосферы. Таким образом, при оценке опасности загрязнения атмосферы необходимо учитывать количество и интенсивность опасных событий для получения достоверных оценок.

Литература

1. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – М.: Гос. ком. СССР по гидрометеорологии, 1991. – 691 с.
2. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
3. Турос Е.И. Состояние здоровья населения: рождаемость и смертность в промышленных городах Украины с различным загрязнением атмосферного воздуха: Дис... канд. мед. наук: 14.02.01. – К., 1998. – 154 с.