

УДК 504.6

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ
ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ, И
ОБУСЛОВЛЕННОГО ИМ ПОПУЛЯЦИОННОГО РИСКА

А.Г. ХРУПАЧЕВ*, А.А. ХАДАРЦЕВ*, В.С. ХМЕЛЕВЦОВ**, О.А. СЕДОВА*

*Тульский государственный университет, г. Тула, тел. +7 4872 33 22 09

**ООО «Обнинская фотоника», г. Обнинск

Аннотация. В работе рассмотрены существующие подходы к оценке техногенного загрязнения атмосферного воздуха населенных мест. Дано обоснование преимуществ метода дифференциальной оптической спектроскопии, применение которого позволило получить теоретическую зависимость для определения концентрации аэрозолей в различные периоды года и время суток.

Ключевые слова: математическое моделирование, дифференциальная оптическая абсорбционная спектроскопия, аэрозоли.

THE ANALYSIS OF THE EXISTING THEORETICAL MODELS AND THE EXPERIMENTAL
METHODS OF EVALUATION OF TECHNOGENOUS POLLUTION OF ATMOSPHERIC AIR AND
ITS EFFECT ON POPULATION RISK IN POPULATED CONDITION

A.G. KHRUPATCHEV*, A.A. KHADARTSEV*, V.S. KHMELEVTSOV**, O.A. SEDOVA*

*Tula State University, Tula, tel.: +7 4872 33 22 09

**Society Ltd "Obninsk photonika", Obninsk

Abstract. The existing approaches for evaluation of technogenous pollution of atmospheric air into populated condition were presented in the paper. The advantage of differential optic spectroscopy method which the use allows to obtain the theoretical dependence for determination of aerosols' concentration during the different times of day and periods of year was studied.

Key words: mathematical modeling, differential optic absorptional spectroscopy, aerosols.

Результаты отечественных и зарубежных исследований по рассматриваемой проблематике показывает, что эффективность процедуры оценки ущерба, наносимого здоровью человека, напрямую зависит от точности определения качественного и количественного состава загрязняющих веществ. При этом, научный и технический уровень методики экологического мониторинга имеет огромное значение для точности определения этих параметров. В настоящее время для этих целей применяются два подхода.

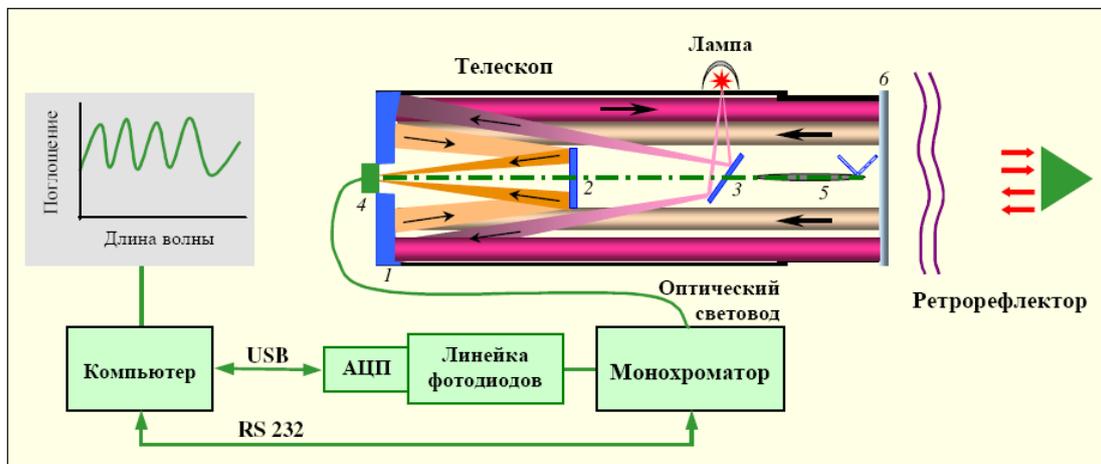
Математическое моделирование атмосферного загрязнения, основанное на трех моделях построения схем адвективного и диффузионного переноса загрязняющих веществ, предложенных Гауссом, Эйлером и Лагранжем, а также различные комбинации этих схем. У нас в стране наибольшее распространение для решения практических задач оценки загрязнения атмосферного воздуха получила гауссова модель, которая реализована в *Методике расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86)*. Применительно к нашему направлению исследований существенным недостатком этой методики является то, что *при математическом описании гауссовой модели сделано допущение о том, что в воздухе не происходят химические реакции, что противоречит современному уровню знаний в этой области научных исследований* [1].

Применяемые у нас в стране аналитические методы контроля концентрации газовых примесей основаны на отборе проб пассивными и активными пробоотборниками только в приземном слое с их последующим лабораторным анализом. Данная технология не отвечает современным требованиям с точки зрения трудозатрат, оперативности и возможности автоматических непрерывных измерений. Периодичность анализов в большинстве случаев недостаточна для корректной оценки как кратковременных, так и особенно длительных экспозиций и, следовательно, они не могут служить базой для долгосрочного прогноза, т.к. непригодны для получения надежных оценок тенденций изменения экспозиции загрязняющих веществ, во времени и пространстве.

Материалы и методы исследования. В качестве альтернативы в работе применен метод *дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии* (ДОАС), который является эффективным инструментом для измерения малых концентраций основных загрязняющих атмосферный воздух газов (диоксидов азота и серы, озона, бензола, формальдегида, толуола др.) в режиме реального времени. В настоящее время на повестке дня стоит вопрос о разработке официально утвержденных методик и внедрения этих приборов в практику экологического мониторинга газовых загрязнений атмосферы. Важные шаги в этом направлении сделаны Американским агентством по защите окружающей среды (US EPA), которое одобрило метод ДОАС в качестве эквивалентного метода измерения трех основных загрязняющих примесей: SO₂, NO₂ и O₃.

Примененный в работе российский газоанализатор «ДОАС-М1» (рис. 1) позволяет одновременно в непрерывном режиме измерять концентрации 38 газов с порогом чувствительности менее 0,1 среднесуточной ПДК_{сс} (Сертификат RU.C.31.027.A №28714 зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под

№ 35465-07 и допущен к применению в Российской Федерации, выдан 08.08.2007 г). Работа прибора основана на регистрации спектра поглощения атмосферного воздуха и сравнении его с известными спектральными характеристиками измеряемых газов.



- | | |
|---|--|
| 1 – главное сферическое зеркало | 4 – узел юстировки входного окна ОВС |
| 2 – круглое плоское (вторичное) зеркало | 5 – затвор с дополнительным ретрорефлектором |
| 3 – плоское поворотное зеркало | 6 – защитное стекло |

Рис. 1. Принцип действия трассового газоанализатора ДОАС-М1

Для математической обработки данных измерений на атмосферной трассе, а именно, для расчета оптических толщин загрязняющих газов и их концентраций, необходимо иметь данные о спектральном распределении сигнала источника излучения. Это связано с тем, что газоанализатор представляет собой светочувствительный прибор, для повышения точности измерений которого необходимо определить величину темнового тока – главного источника шума в подобных приборах. К тому же периодически требуется измерение спектра ксеноновой лампы в связи ее старением. С этой целью в процессе трассовых измерений проводятся измерения сигнала лампы, с помощью введенного нами юстировочного устройства для внутренней калибровки.

Оно предназначено для измерения сигнала ксеноновой лампы и конструктивно представляет собой цилиндрическую насадку с затвором – круглой шторки на поворотной ручке на которой установлен дополнительный ретрорефлектор.

Использование впервые разработанного юстировочного устройства для внутренней калибровки позволило повысить точность производимых трассовым газоанализатором измерений концентрации загрязняющих веществ.

Кроме того, без юстировочного устройства требовалось переводить телескоп на ретрорефлектор, расположенный на другой оси от удаленного ретрорефлектора, что приводило к сбою настройки прибора.

В предложенной же схеме размеры шторки и стакана подобраны так, что при измерении отражения от удаленного ретрорефлектора, она не мешает, а при измерении ближнего ретрорефлектора – перекрывает одновременно путь от удаленного, поэтому после измерения не требуется подстройка.

Результаты и их обсуждение. Полученные экспериментальные данные позволили разработать таблицу значений коэффициента влияния облачности $k_{обл}$, на интенсивность процессов трансформации диоксида азота (табл. 1).

$$k_{обл} = \frac{C_{факт(i)}}{n} \quad (1)$$

где $C_{факт(i)}$ – текущие значения концентраций диоксида азота в различное время суток и сезоны года, n – значение общей облачности (в баллах).

Таблица 1

Значения коэффициента влияния общей облачности $k_{об}$ на уровень трансформации диоксида азота

Общая облачность (баллы)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k_{обл}$	1	2,75	4,5	6,25	8	9,75	11,5	13,25	15	16,75

С учетом новых знаний, и на основе фундаментального закона сохранения масс, была получена расчетная зависимость для определения концентрации нитратных аэрозолей в приземном слое атмосферного воздуха (2):

$$C_{PM} = 3,25 \cdot \left(\frac{C(NO_2) \cdot \frac{k_\alpha}{2,4}}{k_{обл}} \right) \quad (2)$$

где $C(NO_2)$ – концентрация диоксида азота, mg/m^3 , k_α – коэффициент влияния угла наклона (толщины оптического слоя), $k_{обл}$ – коэффициент облачности; 2,4 и 3,25 – коэффициенты пропорциональности.

Разработка зависимости (2) позволяет на практике реализовать требование п. 1.5 Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86: «*Расчет концентрации вредных веществ, претерпевающих полностью или частично химические превращения (трансформацию) в более вредные вещества, проводится по каждому исходному и образуемому веществу отдельно*».

Выполненные по зависимости (2) расчеты концентраций, имеют хорошее согласование с результатами экспериментальных работ, полученными учеными Берлинского технического университета, проводившими оценку загрязнения атмосферного воздуха г. Берлина методом лазерного зондирования [2]. На рис. 2 представлено качественное сравнение изменения графиков концентраций взвешенных частиц и диоксида азота, установленных экспериментально немецкими учеными, с графиком концентраций взвешенных частиц, рассчитанным по разработанной зависимости (2), для решения которой, значения $C(NO_2)$ в каждый конкретный временной период взяты с графика рис. 2. При расчете значения $k_{обл}$ принято равным 1, т.к. 14.06. 2007 г. в Берлине была ясная, солнечная погода.

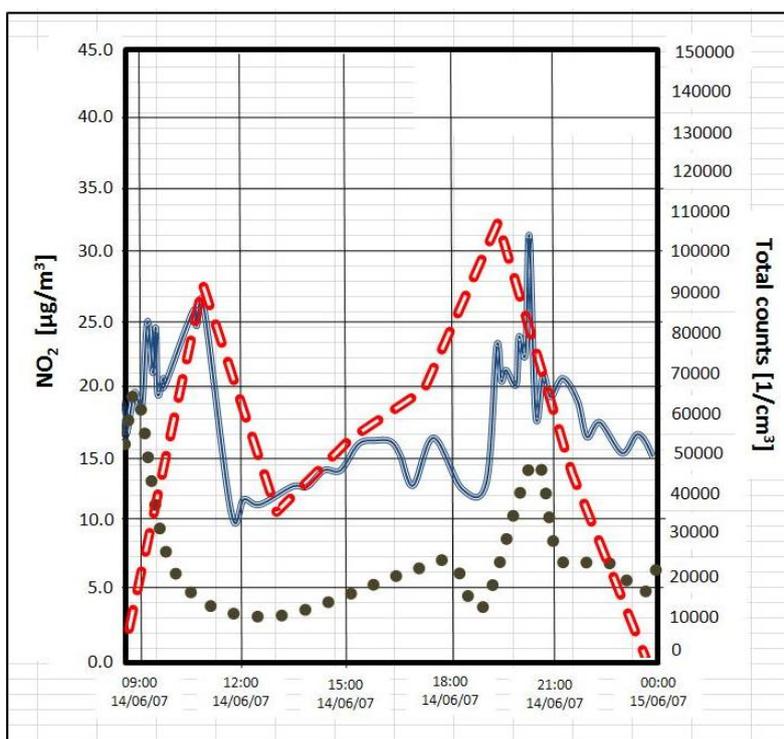


Рис. 2. Сравнение результатов замеров счетной концентрации взвешенных частиц (Берлин, лазерное зондирование с использованием GRIMM-EDM180 и GRIMM-SMPS+C + EDM190) и теоретических расчетов по разработанному способу

Примечание: — измеренный ход концентрации взвешенных частиц
— расчетная концентрация взвешенных частиц
— измеренный ход концентрации NO_2

Кроме того, сравнительный анализ рассчитанного по зависимости (2) графика теоретических значений концентраций нитратного аэрозоля с графиком натуральных экспериментов по определению концентрации аэрозоля нуклеационной моды, полученных Институтом оптики атмосферы Сибирского отделения РАН, в рамках выполнения международного проекта TOR (Tropospheric Ozone Research), с использованием фотоэлектрического счетчика ПК.ГТА-0,3-002 и диффузионного спектрометра аэрозолей (рис. 3), так же подтвердил их высокую степень подобия.

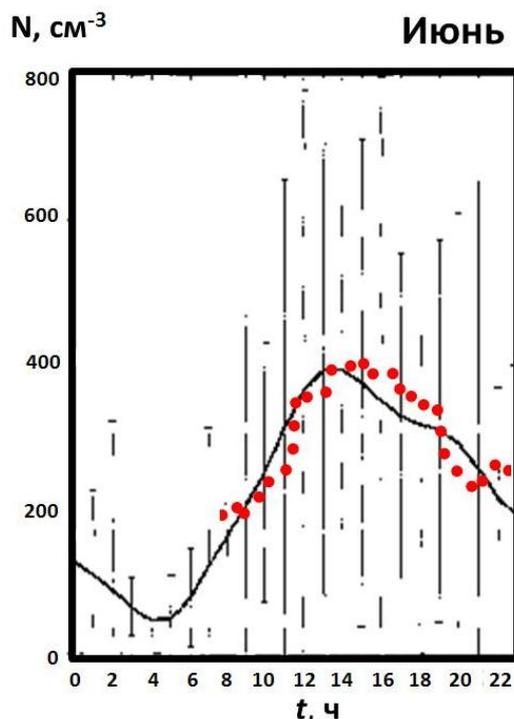


Рис. 3. Сравнение результатов замеров счетной концентрации нуклеационной моды (Томск, фотоэлектрический счетчик ПК.ГТА-0,3-002 и диффузионный спектрометр аэрозолей) и теоретических расчетов (▲▲▲) по разработанному способу

Заключение. Разработаны таблицы значений коэффициента облачности на трансформацию диоксида азота. Получена достоверная расчетная зависимость для определения концентрации нитратных аэрозолей в приземных слоях атмосферы.

Литература

1. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ содержащихся в выбросах предприятий (ОНД 86) // ГГО им. А.И. Воейкова Госкомгидромета.– Ленинград: Гидрометеиздат, 1987.
2. Spielvogel, J. Comprehensive Nanoparticle Measurement Campaign on the Frohnau Tower in Berlin / J. Spielvogel, M. Pesch, L. Keck, H. Grimm. – Nanotech Europe, 2009.