

На правах рукописи

Полуэктова Мария Михайловна

**МЕТОД ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА
АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Специальность: 25.00.30 - метеорология, климатология, агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2009

Работа выполнена в государственном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова»

Научный руководитель:

Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор
Ложкин Владимир Николаевич

Официальные оппоненты:

Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук,
профессор Степаненко Владимир Данилович,
кандидат географических наук Пьянцев Борис Николаевич

Ведущая организация: Российский государственный гидрометеорологический университет.

Защита состоится 8 июля 2009 г. в 14 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 327.005.01 в государственном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова» по адресу: 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова».

Автореферат разослан 8 июня 2009 г.

Ученый секретарь совета по защите
докторских и кандидатских диссертаций,
доктор географических наук

А. В. Мещерская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В 2007 году выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух на территории Российской Федерации достигли 16,3 млн. тонн при неуклонном росте объема выбросов с 1997 г.

В большинстве городов вклад выбросов автотранспорта в валовые выбросы составляет более 50%, а в крупных городах превышает 85 – 90%.

Наибольшие значения максимальных приземных концентраций вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе формируются вблизи автомобильных дорог и их пересечений, по которым с различной интенсивностью, плотностью и скоростью движутся автотранспортные потоки.

Состояние загрязнения атмосферного воздуха в городах Российской Федерации определяется на основании инструментального мониторинга, включающего наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха и дополнительно с помощью передвижных лабораторий. Значения измеренных концентраций загрязняющих веществ в точке наблюдения фиксируют уровень загрязнения атмосферного воздуха без выявления источников загрязнения. Определить вклад автотранспортных источников выбросов позволяет расчетная оценка загрязнения атмосферного воздуха, с помощью которой можно смоделировать конкретную ситуацию и дать прогнозные оценки состояния загрязнения атмосферного воздуха с учетом улучшения экологических характеристик автотранспортных средств, развития улично-дорожной сети городов и др. факторов.

Развитие расчетного метода оценки загрязнения атмосферного воздуха автомобильными выбросами необходимо в части усовершенствования метода определения параметров выбросов автотранспорта как источника загрязнения атмосферы, включающих характеристики автотранспортных потоков (интенсивность, структура, плотность, скорость движения) и величины удельных пробеговых выбросов и удельных выбросов в районах перекрестков.

Для повышения эффективности расчетов загрязнения атмосферного воздуха автомобильными выбросами появилась возможность проведения исследований на новом системном и техническом уровне с использованием технологии Географических Информационных Систем (ГИС). ГИС – информационная система, оперирующая пространственными данными. В отличие от обычных бумажных или отсканированных карт, с помощью электронной топографической основы города возможно учесть весь объем информации о множестве слоев разнообразной общегеографической и тематической информации о городе, в т.ч. об автомагистралях и прилегающих жилых массивах.

Таким образом, тема диссертации, посвященная разработке метода оценки загрязнения атмосферного воздуха городов вблизи автомагистралей и перекрестков выбросами автотранспорта с использованием современных ГИС, является актуальной и своевременной задачей.

Предмет исследования

Предметом исследования являются закономерности формирования полей максимальных приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе вблизи городских автомагистралей и перекрестков при различных метеоусловиях в зависимости от характеристик движения автотранспортных потоков.

Цель и задачи исследования

Целью настоящей работы является разработка метода расчета выбросов автотранспорта и оценки загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомагистралей и перекрестков на основе уточненных удельных выбросов ЗВ для различных категорий автотранспортных средств (АТС) с использованием современных ГИС.

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

- проведение натурных обследований состава и интенсивности автотранспортных потоков в ряде городов РФ;
- разработка метода расчета удельных показателей выбросов основных загрязняющих веществ различных категорий АТС с учетом их экологических характеристик, а также уточнение коэффициентов, учитывающих изменение выбросов загрязняющих веществ при различных скоростях движения АТС;
- применение современных геоинформационных систем для определения основных планировочных характеристик магистралей и перекрестков;
- проведение расчетной оценки загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомагистралей и перекрестков с использованием ГИС;
- анализ зависимости уровня загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомагистралей от параметров источников выбросов автотранспорта и метеорологических условий.

Методы исследования

При решении поставленных в работе задач проводились натурные эксперименты по определению характеристик автотранспортных потоков, расчетные и инструментальные оценки максимальных приземных концентраций загрязняющих веществ с использованием ГИС.

Научная новизна работы

В диссертационной работе:

- разработан метод определения удельных (пробеговых) выбросов загрязняющих веществ для различных категорий АТС, движущихся по автомагистралям;
- разработан метод определения удельных выбросов загрязняющих веществ для различных категорий АТС, находящихся в зоне регулируемых перекрестков;
- уточнены коэффициенты, учитывающие изменение выбросов оксида углерода, оксидов азота и углеводородов, в зависимости от скорости движения АТС;

- предложен метод применения современных ГИС для определения основных параметров автотранспортных источников выбросов;
- определены зависимости изменения уровня загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомагистралей и перекрестков от параметров источников выбросов автотранспорта;
- усовершенствован метод оценки загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом с использованием ГИС.

Практическая значимость работы и внедрение результатов

Основные результаты научных исследований по оценке загрязнения атмосферного воздуха вблизи основных автомагистралей и перекрестков с использованием ГИС (MapInfo Professional, ArcView) апробированы и включены:

- в «Методику определения загрязняющих веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга», «Методику расчета выбросов автотранспорта вблизи регулируемого перекрестка и оценки их воздействия на атмосферный воздух Санкт-Петербурга», «Методику по проведению сводных расчётов на основе компьютерного банка данных о выбросах загрязняющих веществ «Системы Эколог-город Санкт-Петербург», утвержденные распоряжениями Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга;

- в сводный том «Охрана атмосферы и предельно-допустимые выбросы (ПДВ) города Архангельска» для нужд муниципального образования «Город Архангельск».

Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербурга автотранспортом с использованием ГИС послужила основой для принятия управленческих решений по уменьшению загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга автомобильным транспортом.

Результаты научных исследований рекомендовано использовать в качестве исходных данных для оценки и обоснования планируемых градостроительных решений по реконструкции транспортно-дорожной сети Архангельска в рамках «Комплексной транспортной схемы г. Архангельска на период 2008 – 2023 гг.»

Результаты исследований внедрены в атмосфероохранную деятельность, что подтверждено соответствующими актами.

Положения, выносимые на защиту

1. Метод расчета выбросов автотранспорта и оценки загрязнения атмосферного воздуха *в районах автомагистралей* с использованием ГИС.
2. Метод расчета выбросов автотранспорта и оценки загрязнения атмосферного воздуха *в зонах перекрестков* с использованием ГИС.
3. Метод оценки загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом с использованием ГИС.

4. Результаты исследования уровня загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомагистралей и перекрестков в зависимости от параметров источников выбросов автотранспорта и метеорологических условий.

Достоверность результатов и выводов диссертации

Достоверность полученных результатов подтверждается большим объемом используемого фактического материала (данные автоматических стационарных постов по контролю за загрязнением атмосферного воздуха; данные передвижной лаборатории контроля загрязнения атмосферного воздуха г.Архангельска; экспериментальные наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха вблизи отдельных автомагистралей и перекрестков г.Санкт-Петербурга, данные натурных обследований автотранспортных потоков вблизи автомагистралей и регулируемых перекрестков; статистическая информация о возрастной структуре автомобильных парков по территории РФ), а также полученными значениями коэффициентов корреляции между расчетными и инструментальными значениями концентраций загрязняющих веществ.

Личный вклад автора

Автор лично проводил натурные обследования структуры, интенсивности и скорости движения автотранспортных потоков и непосредственно участвовал в измерениях содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на автомагистралях и перекрестках г.Санкт-Петербурга. Автором самостоятельно разработан метод расчета выбросов загрязняющих веществ, включающий определение показателей удельных выбросов и учет изменения выбросов основных загрязняющих веществ от скорости движения автотранспортного потока. Автором лично усовершенствован метод оценки загрязнения атмосферного воздуха с использованием ГИС и проведена его апробация. Все представленные расчеты по определению выбросов загрязняющих веществ и применению ГИС при оценке загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом и изложенные результаты расчетов получены автором лично.

Апробация работы и публикации

Основные положения диссертационной работы докладывались на Международной научно-технической конференции «Улучшение эксплуатационных показателей двигателей, тракторов и автомобилей» (г.Санкт-Петербург, Государственный аграрный университет, 22-24 марта 2005г.), на Седьмой Международной научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (г.Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 21 – 22 сентября 2006 г.), на Пятой Международной конференции «Приборостроение в экологии и безопасности человека» (г.Санкт-Петербург, ГУАП, 31 января – 02 февраля 2007г.), на международной научно-практической конференции «Информационные технологии как основа управления в сфере рационального природопользования и охраны окружающей среды» (г.Санкт-Петербург, 29-30

ноября 2007 г.), на научно-практической конференции «Актуальные вопросы обеспечения безопасности дорожного движения» (г. Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 27 – 28 ноября 2008г.).

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе, 2 статьи – в журналах, включенных в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий (Научно-технический журнал "Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе", №11; Журнал «Экология урбанизированных территорий», №3).

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы и 2 приложений. Объем диссертации – 165 стр. текста, в том числе 33 таблицы, 48 рисунков. Список использованной литературы включает 105 наименований на русском и английском языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, анализируется предмет и объект исследования, практическая ценность и реализация полученных результатов работы, также приводятся основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дается характеристика автотранспорта как источника загрязнения атмосферного воздуха городов; анализируются существующие и применяемые в настоящее время методики оценки загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта в РФ и за рубежом; описывается подход к расчету выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта; анализируются метеорологические условия, влияющие на формирование загрязнения атмосферного воздуха вблизи городских автомагистралей; приводятся примеры применения современных ГИС для оценки загрязнения атмосферного воздуха автомобильными выбросами.

К основным загрязняющим компонентам в отработавших газах автомобилей относятся: оксид углерода (CO), оксиды азота (NO и NO₂), углеводороды (C_xH_y). При режиме работы двигателя на холостом ходу и принудительном холостом ходу в отработавших газах автомобилей возрастает содержание продуктов неполного сгорания – в основном оксида углерода и углеводородов, при этом концентрации оксидов азота малы. При работе двигателя на средних и полных нагрузках, по сравнению с режимами холостого хода и принудительного холостого хода, уменьшаются концентрации оксида углерода (в 3 – 4 раза) и углеводородов (в 5 – 7 раз) и, наоборот, значительно увеличиваются концентрации оксидов азота (в 3 – 5 раз).

За рубежом для практических расчетов загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта широко используются различные версии гауссовских моделей. К таким моделям относятся: американские CALINE-4 (California Line Source Model), ISC3 (Industrial Source Complex Model); ROADWAY 2.0; HIWAY-2; финская CAR-FMI (Contaminants in the Air from a

Road); датская OSPM (Operational Street Pollution Model); шведский программный комплекс AIRVIRO; румынская TRAF (a micro-scale street model for dispersion of pollutant emissions generated by traffic) словацкая – AUTOMOD; венгерские HNS-ROAD, HNS-ISAQA; эстонская AEROPOL; польская EK 100W; голландская CAR II.

В РФ большинство работ по моделированию загрязнения атмосферного воздуха основаны на решении уравнения атмосферной диффузии. Представлены экспериментальные данные, подтверждающие возможность использования расчетной схемы действующей в РФ методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86) для оценки максимальных приземных концентраций загрязняющих веществ вблизи автомагистралей и перекрестков.

Приведены основные положения методологии определения максимальных выбросов загрязняющих веществ на автомагистралях и в зоне регулируемых перекрестков. В качестве исходных данных для расчета выбросов автотранспорта используются результаты натурных обследований структуры, интенсивности и скорости движения автотранспортных потоков на автомагистралях города по основным категориям АТС, соответствующие значения удельных выбросов загрязняющих веществ и планировочные характеристики элементов улично-дорожной сети (ширина и длина автомагистрали, количество полос дорожного полотна и др.).

Показана необходимость совершенствования данного подхода в части уточнения удельных выбросов загрязняющих веществ для различных категорий АТС с учетом введения на территории РФ современных требований на ограничение выбросов, коэффициентов, учитывающих изменение выбросов в зависимости от скорости движения АТС, и определения основных параметров источников выбросов с использованием ГИС.

Указывается, что одними из основных метеорологических факторов, обуславливающих перенос и рассеяние отработавших газов автомобилей в атмосфере, являются ветровые характеристики. Наибольшие концентрации наблюдаются при штиле и слабых скоростях ветра. С увеличением скорости ветра концентрации загрязняющих веществ уменьшаются. Вблизи автомагистралей опасным (соответствующим максимальным значениям концентрации) является направление ветра вдоль магистрали. По мере удаления от автомагистрали неблагоприятное направление ветра приближается к поперечному (90°).

На примере использования различных ГИС обосновывается актуальность проведения расчетов выбросов автотранспорта и загрязнения атмосферного воздуха на новом системном и техническом уровне.

Во второй главе приведена характеристика использованного материала. В работе были использованы: данные натурных обследований автотранспортных потоков; данные датчиков наблюдения Управления дорожного движения за интенсивностью движения автотранспортных потоков; данные автоматических стационарных станций по мониторингу загрязнения атмосферного воздуха

(АСМЗВ); данные передвижных лабораторий контроля загрязнения атмосферного воздуха.

Натурные обследования автотранспортных потоков, результаты которых использованы для расчета выбросов загрязняющих веществ, были проведены на отдельных автомагистралях и перекрестках г.Санкт-Петербурга (2008 – 2009 гг.), г.Архангельска (теплый период 2008 г.), г.Астрахани (теплый период 2004 г.). Дополнительно были учтены материалы Управления дорожного движения, послужившие основой для выявления часов максимальной нагрузки движения автотранспортных потоков, которые включают информацию об интенсивности и структуре движения автотранспортных потоков по основным автомагистралям г. Санкт-Петербурга за зимний период 2005-2006 гг.

Для сопоставления экспериментальных и расчетных значений концентраций загрязняющих веществ были использованы данные измерений концентраций CO, NO и NO₂ и сопутствующих метеорологических параметров на автоматической станции г. Санкт-Петербурга за 2008 – 2009 гг., а также данные экспериментальных измерений, выполненных с участием автора с помощью передвижной лаборатории в зимний период 2009 г. вблизи отдельных перекрестков г. Санкт-Петербурга; в теплый период 2008 г. вблизи основных автомагистралей и перекрестков г. Архангельска.

В таблице 1 представлена характеристика использованного материала по г.Санкт-Петербургу, г.Архангельску и г.Астрахани.

Таблица 1

Характеристика использованного материала

Город	Данные стационарных постов	Данные передвижных лабораторий	Обследования АТП
1. Санкт-Петербург	2008, 2009г.	2008г.; 2009г.	2008г; 2009г.
2. Архангельск	-	2008г.	2006г; 2008г
3. Астрахань	-	-	2004г.

Для обследуемых городов приводится краткое описание многолетних климатических характеристик, влияющих на рассеивание примесей (табл.2).

Таблица 2

Климатические характеристики и коэффициенты, определяющие условия рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере городов

Метеорологические характеристики	Коэффициенты		
	г.Санкт-Петербург	г.Архангельск	г.Астрахань
Коэффициент А, зависящий от температурной стратификации атмосферы.	160	160	200
Средняя максимальная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца года, °С	22,1	21,1	31,1
Средняя температура воздуха наиболее холодного месяца года (для котельных, работающих по отопительному графику), °С.	-7,9	-13	-10,6
Скорость ветра U*(м/с), повторяемость превышения которой (по средним многолетним данным) не больше 5%.	7,0	6,8	8

Для определения планировочных характеристик автомагистралей и перекрестков и некоторых параметров АТП были использованы современные ГИС (ArcView 3.2, Mapinfo Professional) и интернет-сервисы

(«Яндекс.Пробки», «Probki.net»). Показаны основные возможности используемых ГИС при решении поставленных задач.

В третьей главе изложен усовершенствованный автором метод расчета выбросов автотранспорта на автомагистралях и в зоне перекрестков с использованием ГИС.

Предложены восемь категорий АТС, по которым рекомендуется проводить натурные обследования автотранспортных потоков. К ним относятся: *легковые автомобили отечественного производства (Л_о); легковые автомобили зарубежного производства (Л_з); микроавтобусы (МА) и автофургоны (АФ); автобусы бензиновые (АБ); автобусы дизельные (АД); грузовые бензиновые свыше 3,5 т (Г>3,5т); грузовые дизельные до 12 т. (ГД≤12т); грузовые дизельные свыше 12 т. (Г>12т).* По данным категориям АТС приводятся полученные при участии автора значения удельных выбросов ЗВ на примере отдельных городов. Значения удельных выбросов АТС, движущихся по автомагистралям и находящихся в районах регулируемых перекрестков г.Санкт-Петербурга представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

Значения удельных (пробеговых) выбросов загрязняющих веществ (г/км) для АТС, движущихся по автомагистралям г.Санкт-Петербурга

Наименование группы автомобилей	В ы б р о с , г/км		
	СО	NO _x (в пересчете на NO ₂)	С _x Н _y
Легковые отечественные (Л _о)	5	1,3	1,1
Легковые зарубежные (Л _з)	2	0,7	0,4
Микроавтобусы (МА) и автофургоны (АФ)	12	2,0	2,5
Автобусы бензиновые (АБ)	35	5,2	8,5
Автобусы дизельные (АД)	7	6,0	5,0
Грузовые бензиновые свыше 3,5т (Г>3,5т)	60	5,2	10,0
Грузовые дизельные до 12т. (Г≤12т)	9	7,0	5,5
Грузовые дизельные свыше 12т. (Г>12т)	12	8,0	6,5

Таблица 4

Значения удельных выбросов ЗВ (г/мин), учитывающих режимы движения АТС в районе регулируемых перекрестков г.Санкт-Петербурга

Наименование группы автомобилей	В ы б р о с , г/мин		
	СО	NO _x (в пересчете на NO ₂)	С _x Н _y
Легковые отечественные (Л _о)	0,8	0,02	0,12
Легковые зарубежные (Л _з)	0,3	0,01	0,05
Микроавтобусы (МА) и автофургоны (АФ)	2,0	0,04	0,25
Автобусы бензиновые (АБ)	4,0	0,08	0,9
Автобусы дизельные (АД)	1,1	0,11	0,6
Грузовые бензиновые свыше 3,5т (Г>3,5т)	10	0,12	1,2
Грузовые дизельные до 12т. (Г≤12т)	1,5	0,12	0,6
Грузовые дизельные свыше 12т. (Г>12т)	2,0	0,14	0,71

Установлено, что в целях проведения корректных расчетов выбросов ЗВ на автомагистралях необходимо учитывать современные скоростные условия движения автотранспорта в городе в диапазоне от 5 до 110 км/час. Автором определены значения коэффициентов R_v, учитывающих изменение значений

удельных выбросов оксида углерода (CO), оксидов азота (NO_x), углеводородов (C_xH_y) от средней скорости движения АТС (рис. 1).

Проведение натурных обследований АТП на автомагистралях и перекрестках рекомендуется осуществлять в течение 20 минутного интервала в часы максимальной нагрузки движения АТС – по будним дням с 8 ч. до 10ч и с 17ч. до 19ч. На магистралях, расположенных в центральной деловой части городов, дополнительно с 14ч. до 15 ч. Указанные периоды суток с максимальной интенсивностью движения подтверждаются данными Управления дорожного движения г.Санкт-Петербурга.

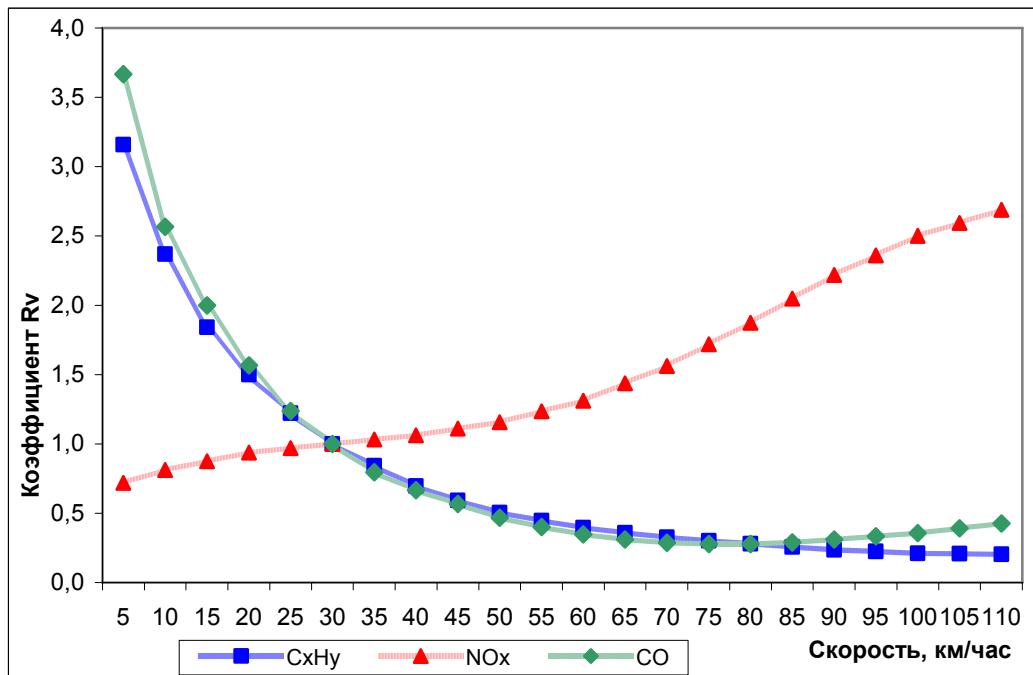


Рис.1 Зависимость коэффициентов R_v от скорости движения АТС

Кроме указанных периодов суток с возможной максимальной нагрузкой движения АТС, при проведении обследований предлагается руководствоваться скоростью движения автотранспортных потоков. Показано, что между скоростью и интенсивностью движения АТП существует нелинейная зависимость, выраженная через плотность движения, которая описывается моделью Гриншилдса. Когда плотность ρ (степень насыщения дороги автомобилями) растет, водители снижают скорость v для обеспечения безопасной дистанции, что математически записывается выражением:

$$v = v_0 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_i}\right), \quad \text{км/час} \quad (1)$$

где v_0 - скорость свободного движения при отсутствии других АТС, км/час; ρ_i - максимальная плотность автотранспортного потока, авт/км.

Для определения плотности автотранспортного потока автором рекомендуется использовать следующие зависимости :

$$\rho = \frac{1000}{S}, \quad \text{авт/км} \quad S = l_0 e^{\frac{v}{25,2}} + l_{\text{атс}}, \quad \text{м/авт} \quad (2)$$

где S (м/авт) – динамический габарит АТС (участок дороги, необходимый для безопасного движения в автотранспортном потоке) при соответствующей скорости движения, м/авт; l_0 – дистанция безопасности между остановившимися АТС, м; $l_{атс}$ – длина расчетного средневзвешенного АТС, м.

Параметр $l_{атс}$ определяется, исходя из анализа структуры автотранспортных потоков обследуемого города. В табл. 5 приведены полученные автором основные характеристики структуры автотранспортных потоков г.Санкт-Петербурга, г.Архангельска и г.Астрахани.

Таблица 5

Основные характеристики структуры автотранспортных потоков на автомагистралях ряда городов России

№ п/п	Название города	Характеристики структуры АТП				
		Л (%)	Г (%)	Гд/Г (%)	А (%)	Ад/А (%)
1	Санкт-Петербург	79	19	21	2	57
2	Архангельск	70	19	11	11	22
3	Астрахань	75	19	20	6	17

Примечание: Л (%) - доля легковых автомобилей в процентах от общего числа автомобилей; Г(%) - доля грузовых автомобилей в процентах от общего числа автомобилей; Гд/Г(%) - доля грузовых автомобилей с дизельными двигателями в процентах от общего числа грузовых автомобилей; А (%) - доля автобусов в процентах от общего числа автомобилей; Ад/А (%) - доля автобусов с дизельными двигателями в процентах от числа автобусов.

Показано, что для г.Санкт-Петербурга рассчитанный средний параметр $l_{атс}$ составляет 6,2 м, для г.Архангельска – 6,7 м, для г.Астрахани – 6,4 м. На рис. 2 представлена зависимость плотности движения автотранспортных потоков и динамического габарита от скорости движения АТС. При скорости движения **10 км/час**, динамический габарит средневзвешенного АТС, S , составляет **9,7 м**, а плотность автотранспортного потока, ρ – **103 авт/км**, при скорости движения **60 км/час** динамический габарит составляет **55 м**, а плотность – **18 авт/км**.

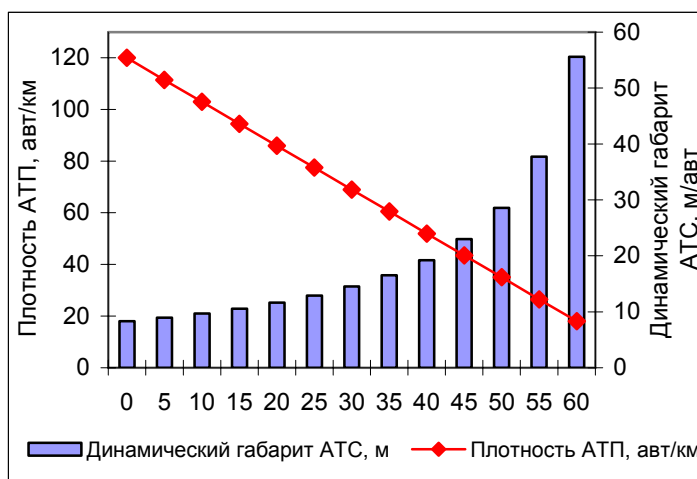


Рис.2 Зависимость динамического габарита средневзвешенного АТС и плотности автотранспортного потока от скорости движения АТС

Если за скорость свободного движения АТС в пределах города (населенного пункта) принять скорость не более **60 км/час**, а за максимальную плотность движения автотранспортного потока со смешанным составом категорий АТС принять значение, равное **120 авт/км**, то распределение

максимальной интенсивности движения автотранспортного потока в городских условиях по одной полосе автомагистрали, N_{max} , (рис.3) соответствует выражению:

$$N_{max} = 120 V - 1,7V^2, \text{ авт/час} \quad (3)$$

Таким образом, наибольшие значения интенсивности движения автотранспортного потока достигаются при скорости движения **30 – 40 км/час**. Максимальное значение интенсивности движения по одной полосе может составлять около **2000 авт/час**. Результаты проведенных натурных обследований показали, что при высокой плотности движения со скоростью движения **30 км/час**, интенсивность движения по одной полосе составляет **1500-1600 авт/час**.

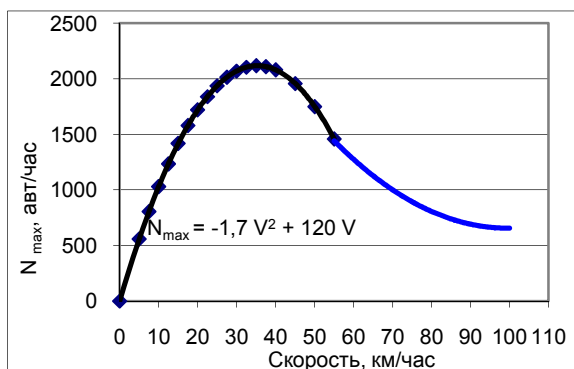


Рис.3 Зависимость максимальной интенсивности от скорости движения АТП по одной полосе автомагистрали

В настоящее время при проведении обследований автомагистралей значения скорости движения категорий АТС оцениваются визуальным методом, погрешности которого вносят искажения в полученные результаты. Поэтому для городов рекомендуется использовать современные геоинформационные интернет-сервисы, которые в оперативном режиме информируют наблюдателя о состоянии улично-дорожной сети города.

На рис.4 представлен пример определения скорости движения автотранспортного потока на ул.Карбышева (г.Санкт-Петербург) с помощью интернет-сервиса «Probki.net», работающего в оперативном режиме. По данным на 20 марта 2009 г. скорость движения АТС на ул.Карбышева в 10ч.05мин. составляла 59 км/час. Данное значение подтверждается натурными данными, согласно которым скорость движения АТП в это же время находилась в диапазоне 60-70 км/час.

Для проведения расчетов выбросов необходимо корректно определять планировочные характеристики магистрали: протяженность автомагистрали между ближайшими перекрестками, L (км), и ширину проезжей части. Для решения данной задачи раньше использовалась информация из бумажных или оцифрованных карт-схем города. Предлагается определять указанные параметры с использованием современных ГИС и интернет-сервисов, работающих в оперативном режиме в сочетании с аэрокосмическими снимками.



Рис.4 Фрагмент топографической основы г.Санкт-Петербурга в районе расположения ул. Карбышева с указанием скорости движения АТП

Такой прием позволяет наиболее точно определить местоположение автомагистрали в реальном пространстве, с учетом ее длины, ширины и кривизны. Например, с помощью ГИС ArcView были определены значения протяженности и ширины, а также парные координаты середин противоположных сторон (X_1 ; Y_1 и X_2 ; Y_2) двух линейных участков ул.Карбышева в г.Санкт-Петербурге. Ширина ул.Карбышева составляет 12,25 м, длина первого линейного участка равна 234,17 м, второго участка – 467,87 м. Координаты середин противоположных сторон первого участка ул.Карбышева составляют в городской системе координат г.Санкт-Петербурга: $X_1= 115858$ м; $Y_1 = 100827$ м и $X_2 = 115670$ м; $Y_2 = 100688$ м, координаты второго участка: $X_1 = 115670$ м; $Y_1 = 100688$ м и $X_2 = 115420$ м; $Y_2 = 100292$ м.

Для оценки выбросов в зоне перекрестка необходимым параметром является длина очереди перед перекрестком, выраженная как в единицах длины, L_o (м), так и в единицах АТС, G^o (авт). Длина очереди тесно коррелирует с интенсивностью, скоростью движения, параметрами режима регулирования светофора.

Отмечается, что визуально оценить длину очереди перед перекрестком к концу действия запрещающего сигнала светофора, а тем более определить количество АТС, находящихся в очереди, зачастую не представляется возможным. Предлагается применять расчетный метод, основанный на значениях максимальной интенсивности, скорости и плотности движения автотранспортного потока, а в крупных городах с высокой интенсивностью движения автотранспорта современные ГИС в сочетании с интернет-сервисами в оперативном режиме (он-лайн).

Для расчета количества АТС в очереди используется формула:

$$G_k^o = N_k t_{stop}, \quad \text{авт.} \quad (4)$$

где t_{stop} – длительность запрещающего сигнала светофора, мин;

N_k – максимальная интенсивность движения k -ой категории АТС в данном направлении через створ светофора по одной полосе, авт/мин.

Длина очереди перед перекрестком, L_o , рассчитывается по формуле:

$$L_o = S N t_{stop} / m, \quad \text{м} \quad (5)$$

где N – суммарная интенсивность движения АТС, авт/мин; m – количество полос движения в сторону перекрестка.

На примере г.Санкт-Петербурга и г.Архангельска показано, что расчетный метод позволяет достаточно точно определить количество АТС, образующих очередь перед регулируемым перекрестком, G^o (авт), а также длину очереди автотранспорта, L_o (м). Например, на автомагистрали г.Санкт-Петербурга (ул.Политехническая) при интенсивности движения 3000 авт/час, и скорости движения 15 км/час длина очереди, формируемая за время запрещающего сигнала светофора, равное 36 с, составляет по натурным данным 140 м, по расчету – 125 м. При аналогичной интенсивности движения, с увеличением длительности запрещающего сигнала до 41 с, длина очереди увеличивается и составляет по натурным данным 150 м, по расчету – 131 м. В таблице приведены замеренные и расчетные значения длины очереди и других параметров АТП на примере некоторых перекрестков г.Санкт-Петербурга.

Приводятся коэффициенты корреляции на примере г.Архангельска и г.Санкт-Петербурга между расчетными и наблюдаемыми параметрами: по скорости движения АТС $R_v = 0,65$, по динамическому габариту АТС $R_s = 0,59$; по количеству АТС, находящихся в очереди перед перекрестком $R_{G_o} = 0,9$; по длине очереди АТС перед перекрестком $R_{L_o} = 0,8$.

Таблица 6

Измеренные и расчетные значения основных параметров АТП на двух перекрестках г.Санкт-Петербурга

Наименование пересекающихся автомагистралей	Дата, время	Время действия сигналов светофора, мин		Суммарная интенсивность движения по замерам N , авт/час	Скорость движения, км/час		Динамический габарит S , м/авт		Количество АТС в очереди G^o , авт		Длина очереди АТС L_o , м		
		t_{stop}	t_{start}		Замеры	Интернет-сервис	замеры	расчет	замеры	расчет	замеры	расчет	Интернет-сервис
1. ул. Политехническая и Новороссийская ул. -	04.03.2009 18.00-18.20 ч.	0,6	0,75	3120	30	41	11	10,1	33	31,2	140	125	150
	05.03.2009 17.30-17.50 ч.	0,6	0,75	3000	15	20	10	8,9	30	30,0	120	107	115
	10.03.2009 18.15-18.35 ч.	0,61	0,68	2700	25	22	10	9,6	30	27,5	120	106	100
	11.03.2009 9.10-9.30 ч.	0,61	0,68	3500	15	10	9	8,9	45	35,6	160	127	150
	17.03.2009 20.15-20.35 ч.	0,56	0,7	2700	25	20	11	9,6	33	25,2	130	97	120
2. ул. Политехническая и пл. Мужества	04.03.2009 18.20-18.40 ч.	1,08	1,25	3600	25	15	9	9,6	70	64,8	210-230	208	250
	10.03.2009 18.30-18.50 ч.	1,08	0,42	3000	20	17	10	9,3	75-80	69,8	250-270	215	240
	11.03.2009 18.30-18.50 ч.	1,08	0,42	3680	40	37	11	11,0	80	94,3	280	345	300
	17.03.2009 20.30-20.50 ч.	1,08	0,42	2880	30	25	10	10,1	60	65,5	200	219	180
	19.03.2009 19.20-19.40 ч.	1,08	0,42	3240	30	15	10	10,1	75	78,5	250	263	280

Указывается, что для крупных городов (г.Москва, г.Санкт-Петербург, г.Екатеринбург) уже разработаны геоинформационные интернет-сервисы («Яндекс.пробки» и «Probki.net»), с помощью которых можно определить

длину очереди перед исследуемыми перекрестками. Очередь перед крупными перекрестками с высокой интенсивностью движения автотранспортного потока обозначается красным цветом, который означает, что скорость движения на данном участке составляет около 5 км/час. Длину участка можно определить двумя способами – с помощью соответствующего инструментария и через информационное окно.

На рис.5 представлен пример определения длины очереди автотранспорта, L_0 (м), перед регулируемым перекрестком г.Санкт-Петербурга с помощью интернет-сервиса «Яндекс.пробки», откуда следует, что длина очереди автотранспорта на участке пр.Бабушкина перед перекрестком пр.Бабушкина – пр.Александровской Фермы в направлении к центру города в 17 часов составляет 1029 м.

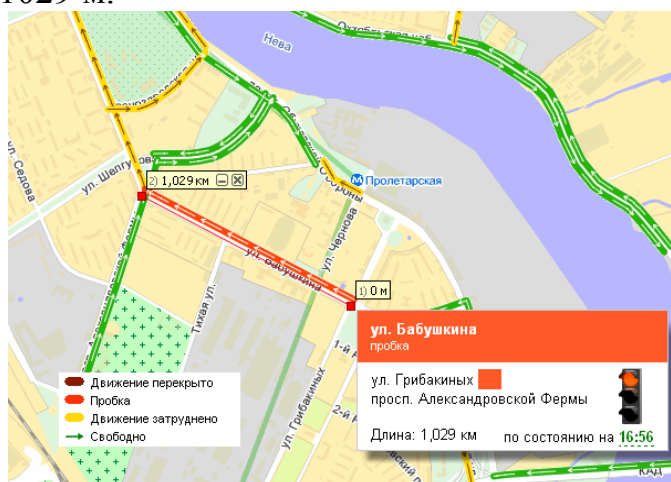


Рис.5 Фрагмент картографической основы г.Санкт-Петербурга в районе перекрестка пр.Бабушкина – пр.Александровской Фермы

Разработан алгоритм проведения расчетов выбросов загрязняющих веществ на перегонных линейных участках автомагистралей и в зоне регулируемых перекрестков. Расчеты выбросов CO , NO_2 и C_xH_y проведены на автомагистралях на перекрестках. На примере г.Санкт-Петербурга и г.Архангельска показано, что на перегонных участках автомагистралей с уменьшением скорости движения АТС выбросы CO увеличиваются, а выбросы NO_2 снижаются. Например, при уменьшении скорости движения с **60 до 10 км/час**, выбросы CO увеличиваются **в 7,5 раз**, выбросы NO_2 уменьшаются **в 1,5 раза** (табл.5). При этом с увеличением интенсивности движения без изменения скорости движения АТС, выбросы $ЗВ$ увеличиваются. Например, при увеличении интенсивности движения от **1000 до 1650 авт/час** выбросы CO и NO_2 увеличиваются **в 1,6 раза** (табл.7).

Таблица 7

Зависимость значений выбросов $ЗВ$ от реальных значений интенсивности и скорости движения АТС на примере автомагистрали г.Санкт-Петербурга

Наименование магистрали	Интенсивность, авт/час	Скорость, км/час	Выбросы CO , г/с	Выбросы NO_2 , г/с
ул.Карбышева	2 1 0 0	60	0,6	0,44
	2 2 0 0	10	4,5	0,29
	1000	7 0	0,23	0,24
	1650	7 0	0,4	0,38

На участках пересекающихся автомагистралей с увеличением интенсивности движения и длины очереди АТС перед перекрестком, выбросы загрязняющих веществ увеличиваются. Вклад находящихся в очереди АТС в суммарные выбросы CO в зоне перекрестка составляет 68 – 72 %, в выбросы NO_x до 7,5%, в выбросы C_xH_y 68 % (табл.8).

Таблица 8

Выбросы загрязняющих веществ от АТС, находящихся в очереди перед регулируемым перекрестком, на примере г.Санкт-Петербурга

Наименование перекрестка	Длина очереди, м	Выбросы CO, г/с	Выбросы NO ₂ , г/с	Выбросы C _x H _y , г/с
Малый пр.В.О. и 13-я линия В.О.	32	0,14	0,003	0,022
	40	0,18	0,0048	0,032
	58	0,24	0,0064	0,040

На основании вышеизложенного, автором составлены блок-схемы расчета максимальных выбросов загрязняющих веществ автотранспортом и применения результатов расчетов при оценке загрязнения атмосферного воздуха на автомагистралях и в зоне регулируемых перекрестков с использованием ГИС (рис.6, 7).



Рис.6 Блок-схема расчета максимальных выбросов загрязняющих веществ автотранспорта с использованием ГИС

В четвертой главе представлены результаты расчетной оценки загрязнения атмосферного воздуха основными загрязняющими веществами вблизи автомагистралей и перекрестков с использованием ГИС; показано влияние интенсивности, скорости движения автотранспортных потоков, а также длины очереди АТС на изменение уровня загрязнения атмосферного воздуха; проведен анализ зависимости уровня загрязнения атмосферного воздуха от метеорологических условий.

Расчеты загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомагистралей и перекрестков были проведены по данным о выбросах АТС на основе расчетной схемы ОНД-86 на примере г.Санкт-Петербурга, г.Архангельска и

Астрахани. Результаты расчетов полей максимальных концентраций ЗВ с использованием ГИС представлены на топографической основе городов.

На линейных участках обследованных автомагистралей с увеличением интенсивности движения, расчетные значения концентраций загрязняющих веществ возрастают. Например, в г.Архангельске вблизи автомагистралей с интенсивностью движения АТС **770 авт/час** и скоростью 50 км/час, расчетная максимальная приземная концентрация NO₂ в точке измерения составляет **1,8 ПДК**. С увеличением интенсивности до **1640 авт/час** концентрация NO₂ возрастает до **3,5 ПДК** (при скорости ветра 0,5 м/с и направлении ветра на точку измерений под углом 30° к магистрали). По данным инструментальных измерений при интенсивности движения более **2000 авт/час** приземные концентрации NO₂ и NO достигают значений **1,5 – 2,0 ПДК**.

Отмечено, что с уменьшением скорости движения АТС на перегонных участках автомагистралей, концентрации СО увеличиваются в несколько раз, концентрации NO и NO₂ снижаются. Например, вблизи автомагистрали с интенсивностью движения автотранспортного потока **3200-3300 авт/час** при уменьшении скорости движения с **60 до 10 км/час**, рассчитанные в точке измерений максимальные приземные концентрации СО увеличиваются в **6 – 8 раз** и составляют **3,1 ПДК**, концентрации NO₂ уменьшаются с **2,7 ПДК до 1,7 ПДК**.

В зоне регулируемых перекрестков расчетные значения концентраций СО с увеличением длины очереди автомобилей увеличиваются, а значения концентраций NO и NO₂ уменьшаются. По данным инструментальных измерений при длине очереди **200-250 м** концентрации СО превышают **1 ПДК** в 50% случаев, достигая значений **2 – 2,5 ПДК**.

На примере одного из перекрестков г.Архангельска показано, что с увеличением длины очереди автомобилей перед регулируемым перекрестком с **30 до 50 м** рассчитанные значения концентрации СО в точке измерений увеличиваются от **0,82-1,18 ПДК до 1,19-1,90 ПДК**.

Одними из основных метеорологических параметров, определяющих изменчивость концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, являются направление и скорость ветра. В зависимости от пространственного расположения автомагистралей и измерительных станций, направление ветра влияет на изменение значения концентрации. Расчетная оценка показала, что наибольшие концентрации загрязняющих веществ в точке измерения отмечаются при направлении ветра на точку под углом 30° к магистрали. Это подтверждается инструментальными измерениями, согласно которым максимальные значения концентраций были зафиксированы при направлениях ветра под углом до **30-45°** к магистрали.

На уровень загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомагистралей и перекрестков неблагоприятное влияние оказывают штилевые условия. По данным инструментальных замеров выявлено, что максимальные значения концентраций загрязняющих веществ вблизи автомагистралей наблюдаются в

утренние (7 - 10 ч.) и вечерние (18 - 20 ч.) часы, когда наблюдалась скорость ветра, в среднем, около **1,0 м/с**.

На рис. 7 приведена разработанная автором блок-схема применения метода расчета максимальных выбросов загрязняющих веществ при оценке загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомагистралей и перекрестков с использованием ГИС.



Рис.7 Схема проведения оценки загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомагистралей и перекрестков с использованием ГИС

Основные результаты диссертационной работы

1. Выполнен анализ существующих и применяемых в настоящее время методик оценки загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта в РФ и за рубежом. Показана возможность применения расчетной схемы, лежащей в основе методики ОНД-86 для определения максимальных приземных концентраций, формируемых выбросами автотранспорта.

2. Проведены натурные обследования автотранспортных потоков в ряде городов РФ. Средняя интенсивность движения в г.Санкт-Петербурге составляет **2400 авт/час** (78% легковых АТС, 20% грузовых АТС, 2% автобусов), в г.Архангельске **1300 авт/час** (70% легковых АТС, 19% грузовых АТС, 11% автобусов), в г.Астрахани – **2200 авт/час** (75% легковых АТС, 19% грузовых АТС, 6% автобусов).

3. Определены удельные выбросы загрязняющих веществ для восьми категорий АТС, движущихся по автомагистралям и находящихся в зоне перекрестков, для Санкт-Петербурга и Архангельска. Определены коэффициенты, учитывающие изменение выбросов основных загрязняющих веществ (CO , NO_x , C_xH_y) в зависимости от средней скорости движения АТС.

4. Разработан метод определения длины, ширины участков автомагистралей, длины очереди АТС, количества АТС в очереди перед регулируемым перекрестком, скорости и плотности движения АТС с использованием современных ГИС и интернет-сервисов и апробирован на примере г.Санкт-Петербурга и г.Архангельска. Коэффициенты корреляции между расчетными и наблюдаемыми значениями составляют по динамическому габариту АТС, количеству АТС, находящихся в очереди перед

перекрестком, по *длине очереди* перед перекрестком $R_S=0,59$; по $R_{G_0}=0,9$ и $R_{L_0}=0,8$ соответственно.

5. Разработан метод расчета выбросов загрязняющих веществ на перегонных участках автомагистралей и в зоне регулируемых перекрестков. Результаты расчета выбросов показали, что на перегонных участках автомагистралей с уменьшением скорости движения АТС выбросы СО увеличиваются, а выбросы NO_2 снижаются. С увеличением интенсивности движения АТС без изменения скорости движения АТС, выбросы загрязняющих веществ возрастают.

6. Усовершенствован метод оценки загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта с использованием ГИС. Дана оценка загрязнения атмосферного воздуха оксидом углерода и диоксидом азота вблизи автомагистралей и перекрестков на примере г.Санкт-Петербурга и г.Архангельска.

С увеличением интенсивности движения автотранспортных потоков максимальные приземные концентрации возрастают. С уменьшением скорости движения АТС с **60 до 5 км/час** на линейных участках автомагистралей концентрации оксида углерода увеличиваются в **1,5 – 8 раз**, концентрации оксидов азота уменьшаются в **1,1 – 1,6 раза**.

В зоне регулируемых перекрестков с увеличением длины очереди АТС (от **30 до 250 м**) уровень загрязнения атмосферного воздуха оксидом углерода возрастает в среднем в **5,0 – 6,5 раз**, превышая **1 ПДК**.

7. Вблизи магистралей и перекрестков максимальные концентрации загрязняющих веществ формируются при слабых скоростях ветра при направлениях ветра под углом до **30 - 45°** к магистралям.

8. Отмечена согласованность между расчетными и измеренными значениями концентраций оксида углерода, диоксида азота и оксида азота.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Ложкин В.Н., Буренин Н.С., Полуэктова М.М. и др. Обоснование некоторых перспективных направлений исследований в области контроля загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта // Вопросы охраны атмосферы от загрязнения: Информационный бюллетень №2 (36), - СПб.: НПК «Атмосфера», 2007, с.5-27.
2. Полуэктова М.М. Использование геоинформационных технологий и вычислительного метода при определении длины очереди автотранспорта перед регулируемым перекрестком // Проблемы охраны атмосферного воздуха: Сборник трудов НИИ Атмосфера, - СПб.: НИИ Атмосфера, 2009, с.186-197.
3. Полуэктова М.М., Волкодаева М.В., Левкин А.В. Геоинформационные системы (ГИС) и их практическое применение при проведении расчетов загрязнения атмосферного воздуха // Проблемы охраны атмосферного воздуха: Сборник трудов НИИ Атмосфера, - СПб.: НИИ Атмосфера, 2009, с.169-178.

4. Полуэктова М.М., Волкодаева М.В., Левкин А.В. Использование геоинформационных систем (ГИС) для получения информации о расположении источников загрязнения атмосферы на топографической основе города // Проблемы охраны атмосферного воздуха: Сборник трудов НИИ Атмосфера, - СПб.: НИИ Атмосфера, 2008, с. 214- 225.
5. Волкодаева М.В., Полуэктова М.М. К вопросу о расчетах загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта // журнал «Экология урбанизированных территорий», ИД «Камертон». - М., 2008, №3 с. 103-109.
6. М.В. Волкодаева, М.М. Полуэктова, В.Ф.Хватов. К вопросу о введении в действие на территории РФ международных экологических стандартов «Евро-3» с точки зрения качества атмосферного воздуха (на примере г.Санкт-Петербург) // научно-техн. журнал "Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе", - М., 2007, №11 с.29-35.
7. М.М. Полуэктова, М.В. Волкодаева, В.Ф.Хватов. Анализ влияния выбросов автотранспорта на уровень загрязнения атмосферного воздуха вблизи Московского и Невского проспектов в 1996-2006 гг. // Вопросы охраны атмосферы от загрязнения: Информационный бюллетень №2 (36), НПК «Атмосфера», - СПб., 2007, с.38-52.
8. Полуэктова М.М., Волкодаева М.В. Вклады различных категорий автотранспорта в уровень загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомагистралей г. Санкт-Петербурга в 1993г. и 2003 г. // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей, тракторов и автомобилей: Сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф., – СПб.: СПбГАУ, 2006, с.128-135.
9. Волкодаева М.В., Полуэктова М.М. Оценка качества атмосферного воздуха при реализации европейских требований на ограничение выбросов автотранспорта (на примере отдельных автомагистралей г. Санкт-Петербурга) // Вопросы охраны атмосферы от загрязнения: Информационный бюллетень №1 (31), - СПб.: НПК «Атмосфера», 2005, с.121-132.
10. Волкодаева М.В., Полуэктова М.М. Определение зоны распространения загрязняющих веществ, поступающих в приземный слой атмосферы с выбросами городского автотранспорта (на примере отдельных городов России) // Вопросы охраны атмосферы от загрязнения: Информационный бюллетень №2 (32), - СПб.: НПК «Атмосфера», 2005, с.93-102.
11. Полуэктова М.М., Волкодаева М.В. Влияние улучшения экологических характеристик автотранспорта на уровень загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга // Приборостроение в экологии и безопасности человека (ПЭБЧ'07): Труды Пятой Международной конференции / под ред. Сольничева Р.И. – СПб.: ГУАП, 2007, с.70-72.
12. Полуэктова М.М., Волкодаева М.В. Реализация европейских требований на ограничение выбросов автотранспорта и качество атмосферного воздуха (на примере ряда городов России) // Проблемы охраны атмосферного воздуха: Сборник трудов к 15-летию НИИ Атмосфера, - СПб.: НИИ Атмосфера, 2007, с. 133-143.