

На правах рукописи

СМИРНОВА ИРИНА ВИТАЛЬЕВНА

**МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ
И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ
ЗА КОНЦЕНТРАЦИЯМИ ПРИМЕСЕЙ
В АТМОСФЕРЕ ГОРОДОВ РОССИИ**

Специальность 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург

2007

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

- Научный руководитель — доктор географических наук
Безуглая Эмма Юрьевна.
- Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор
Кобышева Нина Владимировна,
кандидат географических наук
Буренин Николай Сергеевич.
- Ведущая организация — Санкт-Петербургский государственный
университет, географический факультет.

Защита диссертации состоится 16 мая 2007 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д.327.005.01 при государственном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова» по адресу: ул. Карбышева, д.7, Санкт-Петербург, Россия, 194021.

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

Автореферат разослан 13 апреля 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

А. В. Мещерская

А. В. Мещерская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Сеть федеральной службы России по мониторингу загрязнения атмосферы включает 682 станции в 244 городах и дополняется сетью маршрутных, эпизодических и подфакельных наблюдений. Результаты наблюдений обобщаются и анализируются для оценки состояния загрязнения атмосферы, его пространственно-временных характеристик, долгопериодных изменений концентраций примесей и влияющих на них метеорологических условий.

Полный и всесторонний анализ условий появления тех или иных уровней загрязнения атмосферы позволяет делать правильные выводы при планировании и проведении воздухоохраных мероприятий. Информация об изменении состояния загрязнения окружающей среды и в частности атмосферы позволяет судить об эффективности природоохраных мероприятий и израсходованных на них средств, что выдвигает особые требования к ее достоверности.

Понятие достоверности информации включает большой круг вопросов, связанных с деятельностью сети мониторинга. Это качество результатов наблюдений, репрезентативность данных наблюдений, однородность рядов концентраций, полнота данных для надежной статистической обработки и санитарно-гигиенической оценки состояния загрязнения атмосферы. Понятие достоверность включает также корректное объяснение причин повышенных уровней загрязнения и тенденции изменений концентраций за длительный период с учетом метеорологических условий переноса и рассеивания примесей, а также режима выбросов в данном районе.

Для правильной интерпретации данных сетевых измерений необходимо знать с какой точностью они проводятся в результате применения существующих методов анализа качества воздуха, обобщения и обработки результатов анализа. Обеспечение высокой точности проводимых измерений и ее оценка являются сложной задачей. Точность зависит от ошибок, допущенных на разных этапах производства наблюдений. Применимость известных способов оценок погрешностей измерений связана с некоторыми ограничениями, поэтому погрешности учитываются неполностью.

Оценка влияния метеорологических условий на формирование уровня загрязнения атмосферы городов выполняется на основе комплексного показателя — потенциала загрязнения атмосферы и заложена в разработанные теоретические расчетные методы определения приземной максимальной концентрации, создаваемой источниками

выбросов. Изучение влияния метеорологических и синоптических условий на загрязнение воздуха является основой для разработки методов прогнозирования загрязнения в городах. Однако при анализе результатов наблюдений важна количественная оценка вклада метеорологических условий в статистические характеристики загрязнения воздуха и диапазонов их изменений в городах различных регионов России, что позволит не только более надежно оценивать достоверность представляемой информации, но и интерпретировать ее.

Задача наблюдений — представление полей концентраций и характеристик изменения этих полей во времени. При исследовании влияния загрязнения на человека и окружающую среду, а также при организации деятельности, направленной на снижение уровня загрязнения, следует опираться не на отдельные частные результаты измерений, а на обобщенные показатели, характеризующие уровень загрязнения атмосферы в целом и его динамику. В последние годы в связи с широким внедрением вычислительной техники появились большие возможности использования компьютерных технологий для глубокого анализа и всесторонней оценки загрязнения атмосферы в городах России. Однако обилие показателей приводит к различным интерпретациям, часто искажающим действительную ситуацию. Поэтому разработка метода оценки погрешности результатов измерений, количественная оценка вклада метеорологических условий в статистические характеристики загрязнения воздуха, обоснование выбора основных показателей загрязнения атмосферы и индикаторов качества воздуха, интерпретация и представление информации потребителям является актуальной проблемой.

Цель работы

Цель состоит в формировании научно-методической базы работ по защите атмосферы от загрязнения путем:

- разработки способа оценки погрешности результатов измерений концентраций примесей в воздухе, полученных в реальных условиях работы сети;

- оценки этим методом суммарной погрешности данных наблюдений в конкретных городах за выбранный временной период;

- установления возможных диапазонов изменений концентраций примесей за счет вклада метеорологических условий в отдельные статистические показатели качества воздуха;

- разработки методологии оценки, интерпретации и представления информации об уровнях загрязнения воздуха в городах, позволяющей наглядно свидетельствовать о состоянии проблемы.

В соответствии с этой целью поставлены следующие задачи диссертации:

1. Разработать метод оценки погрешности результатов измерений концентраций примесей в воздухе в условиях работы сети на основе статистической обработки этих данных.

2. Оценить суммарную погрешность данных наблюдений в конкретных городах за выбранный временной период с использованием разработанного метода.

3. Оценить вклад метеорологических условий в различных географических районах России в статистические показатели загрязнения воздуха (средние, максимальные концентрации) на основе модельных оценок характеристик условий рассеивания примесей в атмосфере.

4. Разработать способ оценки ожидаемого уровня загрязнения воздуха металлами в городах на основе совместного анализа данных о выбросах и концентрациях загрязняющих веществ.

5. Сравнить уровни загрязнения воздуха в городах Российской Федерации с уровнями загрязнения воздуха в городах других стран по данным национальных систем мониторинга.

6. Разработать методику графического представления и интерпретации информации об уровнях загрязнения воздуха в городах для ее наглядной оценки.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Метод оценки суммарной погрешности результатов измерений концентраций примесей в воздухе на основе данных сетевых наблюдений.

2. Результаты оценки диапазонов изменений средних и максимальных концентраций примесей за счет вклада метеорологических условий рассеивания в различных физико-географических районах России.

3. Методология оценки состояния загрязнения атмосферы городов России и интерпретации результатов мониторинга.

Методы исследования и использованные материалы

В работе использованы методы математической статистики и теории вероятности, а также общегеографические методы анализа характеристик загрязнения атмосферного воздуха и их картирования.

Степень достоверности работы определяется большим массивом обработанных данных наблюдений за загрязнением атмосферы и климатических данных о рассеивании примесей в атмосфере с оценкой их надежности.

Для разработки метода оценки погрешностей данных наблюдений и проверки его применимости обработаны результаты сетевых

наблюдений в 51 городе за период от 3 до 5 лет (1980–1986 гг.), что составило более 180 000 единиц информации, а также данные наблюдений в 240 городах России за 2004 г.

Для оценки диапазонов изменений концентраций примесей под влиянием метеорологических условий использованы данные 67 метеорологических и аэрологических станций, а также данные наблюдений за концентрациями специфических веществ в 19 городах с целью проверки полученных соотношений.

При сравнительном анализе уровней загрязнения использованы данные 70 городов 34 европейских государств за период 1985–1990 гг., 80 крупнейших городов США за период 1984–1988 гг.

При разработке метода оценки уровней загрязнения воздуха металлами использованы результаты измерений концентраций 10 металлов в 120 городах на 220 станциях и данные о выбросах металлов за пятилетний период во всех городах РФ, где такие сведения по каждому веществу имелись.

Научная новизна работы

Научная новизна состоит в разработке автором методологического подхода для оценки погрешностей данных наблюдений.

Впервые выполнены оценки суммарной погрешности данных сетевых наблюдений за концентрациями примесей в атмосфере различных городах, разработанным в диссертационной работе методом.

Определены диапазоны изменения статистических характеристик загрязнения воздуха под влиянием изменений метеорологических условий формирования уровня загрязнения воздуха в различных физико-географических районах России.

Разработана методология анализа и оценки состояния загрязнения атмосферы в городах России, интерпретации и представления данных о загрязнении атмосферы, реализованная совместно с рядом авторов в создании документов о качестве воздуха городов и Руководящем документе РД.52.04.667-2005.

Практическая ценность работы

Полученные оценки погрешности наблюдений позволили установить причины недостоверной информации и дать рекомендации по улучшению качества работы сети. В свою очередь это способствует повышению эффективности методического руководства сетью мониторинга загрязнения атмосферы.

Оценки диапазонов изменения статистических характеристик уровня загрязнения в зависимости от метеорологических условий различных регионов, полученные в работе, используются при проведении критического анализа качества данных и включены в РД.52.04.667-2005.

Сравнение наблюдаемых уровней загрязнения в городах России с зарубежными позволило выявить различия в уровнях и их причины.

Апробация работы

Основные результаты диссертации докладывались автором на ряде семинаров отдела мониторинга загрязнения атмосферы ГГО им. А. И. Воейкова, на международной конференции «Научно-практические проблемы рационального потребления воздуха „Воздух-1998“», «Научно-практические проблемы рационального потребления воздуха и восстановления воздушной среды, „Воздух-2001“», «Воздух-2004», на курсах повышения квалификации специалистов гидрометеослужбы в Донецке, Таллинне, Кучино, Санкт-Петербурге, на научно-методических конференциях и курсах «Современные задачи мониторинга загрязнения атмосферы», проводимых в НПК «Атмосфера» в ГГО им. А. И. Воейкова (1998, 2001). Результаты исследования обсуждались в рамках международного сотрудничества ГГО им. А.И.Воейкова со специалистами Федеральной службы охраны окружающей среды Германии, Агентства охраны окружающей среды (EPA, USA) (1995). Результаты работы включены в «Рекомендации по пространственно-временному анализу данных наблюдений о загрязнении атмосферы с использованием метеорологических характеристик распространения примесей в атмосфере» для сетевых подразделений гидрометеослужбы, в Раздел 9 «Обобщение данных наблюдений за состоянием загрязнения воздуха городов и промышленных центров» Руководящего документа РД.52.04.186-89 и в Руководящий документ РД.52.04.667-2005 «Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения».

Все материалы работы внедрены при создании Ежегодников состояния загрязнения атмосферы в городах РФ, а также в методических документах, направленных в УГМС Росгидромета для совершенствования работы сети мониторинга загрязнения атмосферы.

Личный вклад автора заключается в непосредственном участии во всех исследованиях, включая сбор и анализ информации, в расчетах погрешностей наблюдений и определении диапазонов изменений концентраций под влиянием метеорологических условий и создание РД.52.04.667-2005.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ. Перечень публикаций приведен в конце реферата. Кроме того, 12-я позиция перечня включает Ежегодники состояния загрязнения атмосферы в городах России, в создании которых с 1980 г. по настоящее время принимает участие диссертант.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения. Работа включает 137 с. машинописного текста, 34 иллюстрации, 23 таблицы. Список цитируемой литературы содержит 120 наименований, из них 21 на англ. и нем. языках.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели работы, рассмотрены вопросы научной новизны проведенных исследований. Приведены основные положения, выносимые на защиту, а также сведения о практическом использовании результатов работы и ее апробации.

Первая глава посвящена обзору материалов и регламентирующих документов по точности измерений концентраций примесей на государственной сети мониторинга загрязнения атмосферы. На основании работ Шайковой Е. А. и Янковского И. А. и др., выполнен анализ и обобщение видов погрешностей на всех этапах получения информации о содержании в воздухе примесей.

Количественная оценка уровня загрязнения атмосферы выражается через концентрацию примеси. Результаты отдельных определений концентраций загрязняющих веществ отличаются большой изменчивостью, обусловленной прежде всего тем, что процесс переноса и рассеивания примесей по своей природе является вероятностным. Главная задача обработки информации о загрязнении атмосферы состоит в получении показателей, характеризующих концентрации, которые рассматриваются как совокупности случайных величин, поэтому такими показателями служат статистические моменты случайных величин. Наблюдаемые максимальные концентрации являются важной характеристикой загрязнения, однако их появление в имеющейся выборке в значительной степени случайно. Если же с помощью найденного распределения рассчитать экстремальные характеристики определенной обеспеченности, то они являются более представительными. На расчетных экстремумах основаны различные нормативные требования. Обобщение информации выполняется на основании результатов измерений разовых и среднесуточных концентраций вредных примесей и расчета средних за месяц и год значений. Результаты обобщения по территории служат для выявления городов с наиболее высоким уровнем загрязнения атмосферы, источников выбросов вредных веществ, вносящих наибольший вклад в уровень загрязнения атмосферы, вредных ве-

ществ, содержание которых в атмосфере в основном определяет загрязнение воздуха в городах. Это достигается совместным анализом выбросов вредных веществ, характеристик загрязнения атмосферы и метеорологических условий.

Во второй главе рассмотрены существующие и используемые на практике статистические методы оценки ошибок измерений концентраций примесей.

Представлен метод оценки погрешностей данных наблюдений за загрязнением атмосферы, основанный на предварительном критическом анализе временных рядов концентраций примесей на однородность, использовании условия линейной зависимости между среднемесячными значениями концентраций ($q_{\text{ср}i}$) и среднеквадратическими отклонениями (σ_i), получении набора показателей, позволяющих оценить достоверность данных наблюдений за концентрациями примесей.

Для оценки погрешностей по данным сетевых измерений используется уравнение линейной регрессии ($\sigma_i = a + bq_{\text{ср}i}$). Рассчитываются среднее значение концентрации примеси за рассматриваемый период — J месяцев и среднее из среднеквадратических отклонений по формулам:

$$q_{\text{ср}} = \frac{1}{J} \sum_{i=1}^J q_{\text{ср}i}; \quad \sigma = \frac{1}{J} \sum_{i=1}^J \sigma_i \quad (1);$$

коэффициенты «а» и «b» уравнения линейной регрессии ;
коэффициент корреляции «r» между средними за месяц $q_{\text{ср}i}$ и σ_i .

На основе параметров «а» и «b» рассчитываются:

a/σ — относительное значение средней квадратической ошибки наблюдений,

средняя абсолютная ошибка, полученная из соотношения $|\bar{\varepsilon}| = a/b$,
 $|\bar{\varepsilon}|/q_{\text{ср}}$ — относительное значение абсолютной погрешности.

В полученном наборе статистических показателей наиболее информативными являются коэффициенты уравнения регрессии и коэффициент корреляции. Свободный член уравнения регрессии «а» представляет собой среднюю квадратическую погрешность измерений (σ_ε), коэффициент «b» при отсутствии погрешностей измерений представляет коэффициент вариации концентраций примесей и также дает возможность оценки погрешностей данных измерений. Величина абсолютной погрешности $|\bar{\varepsilon}|$, относительной погрешности (a/σ) и отношение $|\bar{\varepsilon}|/q_{\text{ср}}$, являющееся показателем точности определения среднего значения, характеризуют точность результатов измерений. Полный анализ полученных статистических показателей позволяет установить достоверность данных об уровнях загрязнения воздуха и оценить систематические и случайные погрешности.

В третьей главе изложены результаты проверки применимости метода расчета погрешностей измерений концентраций примесей по данным сетевых наблюдений и дается их интерпретация.

Для решения поставленной задачи автором использованы данные наблюдений за концентрациями 15 различных примесей в воздухе 51 города за период от 3 до 6 лет. По каждому городу в расчеты включено от 24 до 84 значений среднемесячных концентраций примесей и их среднеквадратических отклонений, полученных по данным наблюдений. Для анализа выбирались такие временные периоды, когда ряды концентраций отвечали требованиям статистической и климатологической однородности, т. е. когда не происходило смены методик и приборов для определения содержания примесей в воздухе, существенного изменения в объеме выбросов вредных веществ на предприятиях данного города.

Известно, что если погрешности распределены нормально, то $|\epsilon| \cong 0,8\sigma_\epsilon$, а средняя погрешность измерений $\epsilon = 0$. Из уравнения регрессии следует, что $|\epsilon| = a/b$, где «а» соответствует σ_ϵ . Поэтому, если значения коэффициента «b» находятся в диапазоне 0,8–1,5, то $\epsilon \cong 0$ и случайные погрешности практически не влияют на значение средней концентрации примеси.

Из результатов статистической обработки, выполненной автором, получено, что если «b» находится в диапазоне 0,8–1,5 в 50% наблюдений, т. е. в 50% наблюдений имели место систематические или случайные погрешности, завышавшие значения концентраций. При значениях «b», равных 0,07–0,52 для диоксида азота и 0,05–0,38 для диоксида серы возникают особенно большие погрешности, достигающие 100% и более от средней концентрации примеси.

В результате выполненных автором расчетов получено, что концентрации диоксида серы и азота содержат относительную ошибку менее $0,25\sigma$ в 57 и 67% городов соответственно, т. е. данные удовлетворяют требованию регламентирующих документов по точности измерений. Большие величины погрешностей этих примесей (больше $0,5\sigma$) отмечены в 12 и 17% городов. Относительные погрешности определения концентраций специфических примесей до $0,25\sigma$ отмечены при наблюдениях за содержанием аммиака в 62%, сероводорода в 76%, фенола в 55% городов, а погрешности более $0,5\sigma$ — в 1–2 городах с наблюдениями за содержанием каждой из примесей.

Расчеты по данным за 2004 г. показали удовлетворительное качество результатов наблюдений. В целом по 240 городам России относительная погрешность a/σ концентраций формальдегида составляет 26%, диоксида азота — 29%, оксида углерода — 25%.

Получены четкие зависимости между значениями коэффициентов корреляции (r) и относительными погрешностями измерений концентраций вредных веществ (a/σ). Величины относительных погрешностей определения концентраций примесей возрастают с уменьшением коэффициента корреляции между среднемесячными значениями концентраций примесей и их среднеквадратическими отклонениями.

Выполненное исследование позволило разработать практические рекомендации для оценки надежности характеристик рассматриваемого временного ряда измерений концентраций в зависимости от значений r и b , а также их сочетаний:

при $r > 0,7$ и $0,8 < b < 1,5$ погрешность a/σ , как правило, менее 0,2; результаты измерения концентраций примеси следует считать достоверными с малой погрешностью измерения, которая не сказывается на средних характеристиках ряда;

при $0,5 < r < 0,7$ и $b < 0,5$ возможна погрешность a/σ более 0,4. Это может иметь место при некотором завышении концентраций примесей и случайных ошибках;

при $0,5 < r < 0,7$ и $0,5 < b < 0,8$ погрешность a/σ может принимать большие значения из-за случайной и систематической погрешностей;

при $r < 0,5$ и $b < 0,5$ погрешность a/σ более 0,4. Низкий коэффициент корреляции в большинстве случаев обусловлен наличием случайных погрешностей в наблюдениях, в результате которых σ_i оказывается значительно большей, чем $q_{срi}$. В этом случае данные наблюдений вызывают сомнение, требуется пересмотр ряда для выявления периода с недостоверными данными и его исключения из расчетов;

при $r > 0,5$ и $b > 1$ результаты измерений содержат случайные погрешности, которые приводят к погрешности в определении концентрации примеси и других характеристик загрязнения атмосферы. Но если при этом средняя квадратическая погрешность a составляет $(0,2-0,4)\sigma$, ряд наблюдений является однородным. Причина пониженной корреляции может быть установлена при просмотре годового хода $q_{срi}$ и σ_i .

В 23% из общего числа рассматриваемых городов и примесей имели место случаи, когда коэффициент «а» принимал отрицательное значение. Показано, что в 46% городов с отрицательными значениями «а» концентрации примесей были ниже нижней границы диапазона измерений используемых методик. В этих случаях можно говорить о систематической погрешности, завышающей значения средних концентраций.

Для проверки изложенных выводов о погрешностях и уточнения вида погрешности от диапазонов значений σ и b , выполнено сопоставление погрешностей a/σ , полученных в данной работе, с результатами периодического контроля правильности химического анализа проб воздуха, осуществляемого в сетевых химических лабораториях. Используются значения коэффициентов регрессии $a_{\text{вн}}$, характеризующие систематическую погрешность наблюдений и $b_{\text{вн}}$, характеризующие случайную и систематическую погрешности, полученные методом внешнего контроля измерений концентраций диоксида серы и диоксида азота в 12 городах. Проверка показала, наличие связи между критериями оценки погрешностей двумя методами.

Четвертая глава посвящена оценке влияния метеорологических условий переноса и рассеивания примесей на их концентрации в атмосфере городов различных районов России.

Уровень загрязнения атмосферы, создаваемый выбросами промышленных предприятий, оценивается по величине расчетной приземной концентрации (C_m). Методы расчета максимальной наземной концентрации примесей от наземных и высотных источников холодных и нагретых выбросов разработаны в соответствии с теоретическими и экспериментальными исследованиями, выполненными Берляндом М. Е., Гениховичем Е. Л., Оникулом Р. И., Грачевой И. Г., Бурениным Н. С., Чичериным С. С. и др. и содержатся в ОНД-86. C_m отмечается на некотором расстоянии от источника выбросов при сравнительно часто встречающихся неблагоприятных метеорологических условиях.

В отдельные короткие периоды времени могут создаваться более неблагоприятные условия для рассеивания примесей, чем те, которые учитываются при расчетах C_m . При аномальных условиях концентрация примесей в атмосфере резко возрастает. Если повторяемость таких метеорологических условий высока, то возрастает и величина наблюдаемых максимальных концентраций (q_m), а также повторяемость превышения C_m . Кроме того, возрастает и средняя концентрация примеси ($q_{\text{ср}}$). Используя значения повторяемости метеорологических условий, относящихся к неблагоприятным, можно судить о вероятности превышения рассчитанного значения C_m , а также средних и максимальных концентраций.

На основании анализа результатов многих работ для случаев нагретых выбросов из высоких источников выделены следующие сочетания метеорологических факторов, при которых наземная концентрация примеси q_m отличается от расчетной C_m :

1. $q_m \leq C_m$ при неблагоприятных конвективных условиях и опасной скорости ветра;

2. $q_m > C_m/2$ примерно в 50 % случаев при опасной скорости ветра, но более благоприятных конвективных условиях рассеивания;

3. $q_m > C_m$ при наличии приподнятой инверсии над источником выбросов;

4. $q_m > C_m$ при слабом ветре в слое от земли до некоторой высоты, где наблюдается опасная скорость ветра.

Используя физико-статистический метод численной оценки метеорологического потенциала загрязнения атмосферы, разработанный Безуглой Э. Ю., и исходя из предположения о логнормальном распределении концентрации в приземном слое можно рассчитать соотношения $q_{срi}/q_{ср0}$, q_m/C_m , $q_m/q_{ср}$. Средняя концентрация записывается:

$$q_{срij} = C_m \Pi_i P_j \frac{N}{2\pi},$$

где P_j – повторяемость направления ветра от источника выбросов, N – число направлений ветра,

$$\Pi_i = 0,5 \exp \left[\frac{0,12}{(z_2 - z_1)^2} - \frac{0,69z_1}{z_2 - z_1} \right],$$

z_1 и z_2 – аргументы интеграла вероятности $\Phi(z)$,

$$\Phi(z_1) = 1 - 2P_1, \quad \Phi(z_2) = 1 - 2P_2,$$

P_1 и P_2 находится из выражений:

$$P_1 (q > C_m/2) = P_{ин} + P_{сл} + P_u / 2,$$

$$P_2 (q > C_m) = P_{ин} + P_{сл},$$

где P_u – повторяемость опасной скорости ветра (u_m),

$P_{ин}$ – инверсий температуры, $P_{сл}$ – слабого ветра.

Если принять C_m и u_m одинаковыми для двух источников, расположенных в различных районах России, то можно рассчитать отношение средних концентраций в этих двух районах. Задавая P_1 и P_2 условно для одного района, можно получить распределение по территории РФ превышений $q_{срi}$ над значением $q_{ср0}$ в условном районе, где $P_1 = 0,20$ и $P_2 = 0,05$ (минимальные значения).

$$\frac{q_{срi}}{q_{ср0}} = 1,47 \exp \left[\frac{0,12}{(z_2 - z_1)^2} - \frac{0,69z_1}{z_2 - z_1} \right].$$

Для определения значения $q_{срi}/q_{ср0}$ необходимо знать реальные для данной местности значения P_1 и P_2 . При этом для различных типов источников загрязнения u_m будет также различной. Для упрощения

выделяются две градации опасной скорости ветра: $u_m=0-3$ м/с и $u_m=4-7$ м/с, и для этих градаций определяется P_u .

Анализ рассчитанных отношений $q_{ср1}/q_{ср0}$ с использованием значений P_1 и P_2 , полученных по данным 67 метеорологических и аэрологических станций, показал, что они изменяются для различных районов территории РФ от 1 до 2. В Восточной Сибири, где наиболее высока повторяемость низких приподнятых инверсий $q_{ср1}$ более чем в 1,5 раза выше $q_{ср0}$. В других районах РФ отношение $q_{ср1}/q_{ср0}$ составляет 1,0–1,3. Таким образом, при одинаковых значениях C_m , создаваемых промышленными источниками, средние значения концентраций в городах на территории РФ могут существенно различаться.

В результате различной повторяемости $P_{ин}$, $P_{сл}$ и P_u , при которых возможно различное превышение значения C_m в районе промышленного объекта при заданных параметрах источника, максимальные концентрации примеси q_m с заданной вероятностью превышения при одинаковых значениях C_m будут также различными.

Полученные в работе в результате расчетов значения q_m/C_m хорошо согласуются с изменениями отношений $q_{ср1}/q_{ср0}$. Районы, где при заданном C_m ожидаются наибольшие средние уровни загрязнения ($q_{ср1} > 1,5q_{ср0}$), полностью совпадают с районами, где q_m является наибольшей. Это означает, что можно подобрать такие параметры выбросов, при которых от разных источников могут быть обеспечены равные средние и максимальные с заданной вероятностью превышения уровни загрязнения воздуха в городах различных физико-географических районов.

Выполнена оценка отношений q_m/C_m при заданной вероятности превышения C_m и q_m (максимальной концентрации примеси заданного квантиля, которая может быть зафиксирована в районе источника загрязнения). Показано, что q_m может оказаться выше C_m в 2–5 раз в зависимости от значения $P(q > C_m)$. Таким образом, можно сделать вывод, что при предупреждении о возникновении неблагоприятных метеорологических условий в результате выбросов промышленного предприятия может возникнуть максимальная концентрация примеси, которая будет превышать C_m по крайней мере на 50–70%. В этом случае снижение выбросов должно составлять не менее 50%.

Диапазоны изменений соотношений $q_{ср1}/q_{ср0}$ и q_m/C_m различны. Следовательно, в различных физико-географических районах будут разными отношения $q_{mi}/q_{ср1}$.

Проверка соотношений $q_m/q_{ср}$, рассчитанных и наблюдаемых, по данным 19 городов показала сходимость результатов. Проведена

проверка рассчитанных и реальных соотношений $\mu\text{м}/\text{См}$ фторида водорода в Братске и свинца в Комсомольске-на-Амуре. Расчетные и реальные соотношения близки между собой.

Пятая глава посвящена интерпретации информации об уровнях загрязнения атмосферы и выработке методологии оценки состояния загрязнения атмосферы, строящейся с учетом знания погрешностей измерений концентраций примесей, установления набора параметров, характеризующих качество воздуха применительно к выбранному периоду осреднения, способов представления информации потребителям.

Автором на основе данных наблюдений за концентрациями 10 металлов проанализирована возможность использования косвенного показателя «долевое содержание» металлов в пыли для анализа средних концентраций металлов при привлечении данных о выбросах. Применение показателя при анализе данных о загрязнении атмосферы делает возможным дополнять отсутствующие данные о выбросах или концентрациях металлов по имеющимся данным.

Выполнено сравнение уровней загрязнения и их трендов в городах России, США, крупнейших европейских городах на основе данных национальных сетей мониторинга. Сравнение показало, что не смотря на имеющиеся отличия в средствах и методах получения данных наблюдений в различных странах, имеющиеся различия в уровнях загрязнения определяются объективными причинами, такими как уровень развития экономики и соответствующая ему антропогенная нагрузка на атмосферу. Все виды сравнений, выполненные диссертантом, подтвердили сходные соотношения: уровни загрязнения взвешенными веществами в 2–3 раза выше в крупных российских городах, чем в городах западной Европы и США, что связано с большими суммарными выбросами твердых веществ промышленностью и автотранспортом. Уровни загрязнения дисидом серы и оксидом углерода в российских городах ниже, диоксидом азота примерно равны.

С целью наиболее наглядного представления об уровнях загрязнения атмосферы автором разработана методология построения карт пространственного распределения концентраций примесей в городах на территории России. Демонстрируется на примере карты распределения концентраций бенз(а)пирена. Несмотря на то что картирование точечное, выделяются зоны, где вследствие использования определенного вида топлива и наблюдающихся неблагоприятных условий рассеивания примесей формируются повышенные уровни загрязнения атмосферы. Для выделения зон с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы комплексом различных примесей предложен

учет численности городского населения (% от общей численности населения республики, края, области), подверженного воздействию высокого загрязнения атмосферы (комплексный индекс загрязнения атмосферы >14). Карта показывает, что к регионам, где более 50% населения подвержено воздействию наиболее загрязненного воздуха относятся Иркутская, Камчатская, Московская, Новосибирская, Омская, Самарская, Свердловская, Ульяновская области, Хабаровский край.

В заключении сформулированы основные результаты работы и представлены полученные выводы.

1. Выявлены основные погрешности, возникающие на всех этапах при проведении наблюдений за загрязнением атмосферы.

2. Разработан метод оценки суммарной погрешности результатов наблюдений на сети мониторинга на основе расчета параметров уравнения линейной регрессии. Метод позволяет оценить погрешности, возникающие на различных этапах производства наблюдений.

3. Установлены наиболее информативные показатели для оценки систематической и случайной погрешностей данных измерений: коэффициент корреляции «г» и коэффициенты уравнения регрессии «а» и «b». Величина абсолютной погрешности $|\bar{\varepsilon}|$, относительной погрешности измерений a/σ и отношение $|\bar{\varepsilon}|/q_{cp}$ характеризуют точность измерений. Полный анализ полученных статистических показателей позволяет установить достоверность данных об уровнях загрязнения воздуха.

4. На основании данных наблюдений за концентрациями диоксида серы, диоксида азота и 13 специфических примесей в 51 городе за пятилетний период, а также по данным наблюдений в 240 городах в 2004 году выполнены оценки погрешностей измерений предложенным статистическим методом. Погрешность измерений концентраций NO_2 , регламентируемая руководящими документами в пределах 25%, отмечена в 67% городов, для SO_2 — в 57%, аммиака — в 62%.

5. Выполненное сравнение результатов оценки погрешностей предложенным методом с результатами определения погрешностей химического анализа проб воздуха методом внешнего контроля в конкретных городах показало, что статистический метод оценки данных наблюдений позволяет выявить случайные и систематические составляющие погрешностей.

6. Выполнено моделирование влияния аномальных метеорологических условий в различных регионах России на средние и максимальные концентрации примесей и показано, что под влиянием раз-

личной повторяемости этих условий средние уровни загрязнения могут различаться более чем в 2 раза. Максимальные концентрации могут превышать максимумы, рассчитанные по ОНД-86 на 50–70%. Отношения максимальных концентраций с заданной вероятностью превышения к среднему значению могут различаться от 2 до 15, что указывает на существенный вклад метеорологических условий в формирование уровней загрязнения воздуха и необходимость их учета при интерпретации различных уровней загрязнения воздуха и их трендов в различных городах.

7. Выполнено сравнение уровней загрязнения и их трендов в городах России, США и крупнейших городах Европы, показавшее различия в уровне загрязнения воздуха отдельными веществами, вызванные уровнем промышленного развития, видом используемого топлива и особенностями размещения предприятий в городах. В городах России концентрации SO_2 и NO несколько ниже, NO_2 и CO выше, чем в европейских странах и США. Средние концентрации пыли выше в 2–3 раза из-за больших выбросов твердых веществ.

8. Выполнены расчеты долевого содержания металлов в пыли. Проведено сравнение расчетных и фактических выбросов металлов. Установлено, что показатель «долевое содержание» позволяет дополнять недостающую информацию о концентрациях либо выбросах металлов по имеющимся данным о них и использовать расчетные характеристики для анализа экологической ситуации в городах.

9. Разработана методология представления информации о состоянии загрязнения атмосферы городов, включенная в РД.52.04.667-2005.

10. Разработана методология картирования пространственного распределения концентраций примесей в городах на территории России, а также выделения регионов с наименее комфортными для проживания населения (с точки зрения загрязнения атмосферы комплексом различных примесей) условиями (по численности населения, подверженного воздействию высокого загрязнения атмосферы). Создана карта, на которой выделены регионы, где более 50% городского населения подвержено воздействию наиболее загрязненного воздуха.

Основные научные результаты, полученные в процессе исследования, опубликованы в следующих работах:

1. Безуглая Э.Ю., Завадская Е.К., Смирнова И.В. Загрязнение воздушного бассейна // Состояние окружающей среды Северо-Западного и Северного регионов России. СПб.: Наука, 1995. С. 58–86.

2. Безуглая Э.Ю., Завадская Е.К., Смирнова И.В. Загрязнение атмосферного воздуха городов и промышленных центров. Метеорология и гидрология. М.: Гидрометеоздат, 1992. № 10.

3. Безуглая Э.Ю., Ивлева Т.П., Смирнова И.В. Состояние загрязнения воздуха городов России // Научно-практические проблемы рационального потребления воздуха и восстановления воздушной среды «Воздух 2001». Международная конференция: Тезисы докладов. СПб., 2001.

4. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 255 с.

5. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Влияние лесных пожаров в августе 2002 года на уровень загрязнения воздуха и здоровье населения // Инженерные системы. АВОК Северо-Запад. №1(9), 2003. С.29–32.

6. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова представляет новый Ежегодник // Вопросы охраны атмосферы от загрязнений. Информационный бюллетень № 2–3. СПб.: НПК «Атмосфера», 1994. С.5–8.

7. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. Проблема загрязнения воздуха. Крупнейшие города России // Инженерные системы. АВОК Северо-Запад. №2(6), 2002. С. 19–21.

8. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В., Шадрин Л.Г. Влияние климатических условий распространения примесей на формирование среднего и максимального уровня загрязнения воздуха. Тр.ГГО. Л.: Гидрометеиздат, 1987. Вып.511. С. 85–91.

9. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В., Шадрин Л.Г. Оценка погрешности измерения с помощью статистического анализа временного ряда=Estimation of Measurement Error by Means of a Statistical Analysis of a Time Series. Тр.ГГО. Л.: Гидрометеиздат, 1987. Вып. 511. С.68–84. – Пер. на англ. выполнен специалистами EPA, USA.

10. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В., Чичерин С.С. Об оценке погрешностей определения концентраций примесей в воздухе городов. Тр. ГГО. Л.: Гидрометеиздат, 1991. Вып. 543. С. 3–14.

11. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Руководящий документ. РД 52.04.667-2005 / Сост. Безуглая Э.Ю., Завадская Е.К., Ивлева Т.П., Смирнова И.В. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. 56 с.

12. Ежегодник состояния загрязнения воздуха городов и промышленных центров Советского Союза. 1990 г. Санкт-Петербург, 1991. 190 с.;

Ежегодник. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России. 1991, 1992гг. Санкт-Петербург: Ртп.ГГО, 1992. 465 с.; 1993. 314 с.

1993, 1994, 1995, 1996 гг. Санкт-Петербург: АОЗТ «Текст», 1994. 328 с.; 1995. 280 с.; 1996. 235 с.; 1997 263 с.

1997, 1998, 2000, 2001, 2002гг. СПб.: Гидрометеиздат, 1999. 218 с.; 1999. 130 с.; 2001. 182 с.; 2002. 212 с.; 2003. 222 с.; 2004. 218 с.

13. Качество воздуха в городах России / Сост. Безуглая Э.Ю., Завадская Е.К., Смирнова И.В. СПб.: Текст, 1996. 20 с.

14. Качество воздуха в крупнейших городах России за десять лет (1988–1997) / Ред. Э.Ю.Безуглая. Сост. Завадская Е.К., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. СПб.: Гидрометеиздат, 1999. 144 с. Опубликовано также парал. издание на англ. яз.

15. Качество воздуха в Санкт-Петербурге и его влияние на здоровье населения. Администрация Санкт-Петербурга. Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологич. безопасности. СПб.: 2001. 24 с.

16. Обобщение данных наблюдений за состоянием загрязнения воздуха городов и промышленных центров // РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Ч.1. Р.9 / Сост. Безуглая Э.Ю., Завадская Е.К., Пинигин М.А., Смирнова И.В. М.: Гидрометеоиздат, 1991. С. 383–425.

17. Рекомендации по оценке достоверности данных наблюдений за загрязнением атмосферы / Сост. Безуглая Э.Ю., Полищук А.И., Смирнова И.В. Л.: ГГО, 1984. 15 с.

18. Рекомендации по пространственно-временному анализу данных наблюдений о загрязнении атмосферы с использованием метеорологических характеристик распространения примесей в атмосфере / Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В., Щуцкая А.Б. Л.: Ргп. ГГО, 1990. 40 с.

19. Смирнова И.В. Использование показателя «долевое содержание металлов в пыли» для анализа загрязнения воздуха металлами. Тр.ГГО. СПб.: Гидрометеоиздат, 1998. Вып.549. С. 128–145.

20. Смирнова И.В. Загрязнение воздуха металлами / Ежегодник состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России. 1996 г. СПб.: Гидрометеоиздат, 1997. С. 227–258.

21. Bezuglaya E.Yu., Shchutskaya A.B. and Smirnova I.V. Air Pollution Index and Interpretation of Measurements of Toxic Pollutant Concentrations. – Atmospheric Environment. Vol. 27A, No. 5, 1993, pp. 773–779.