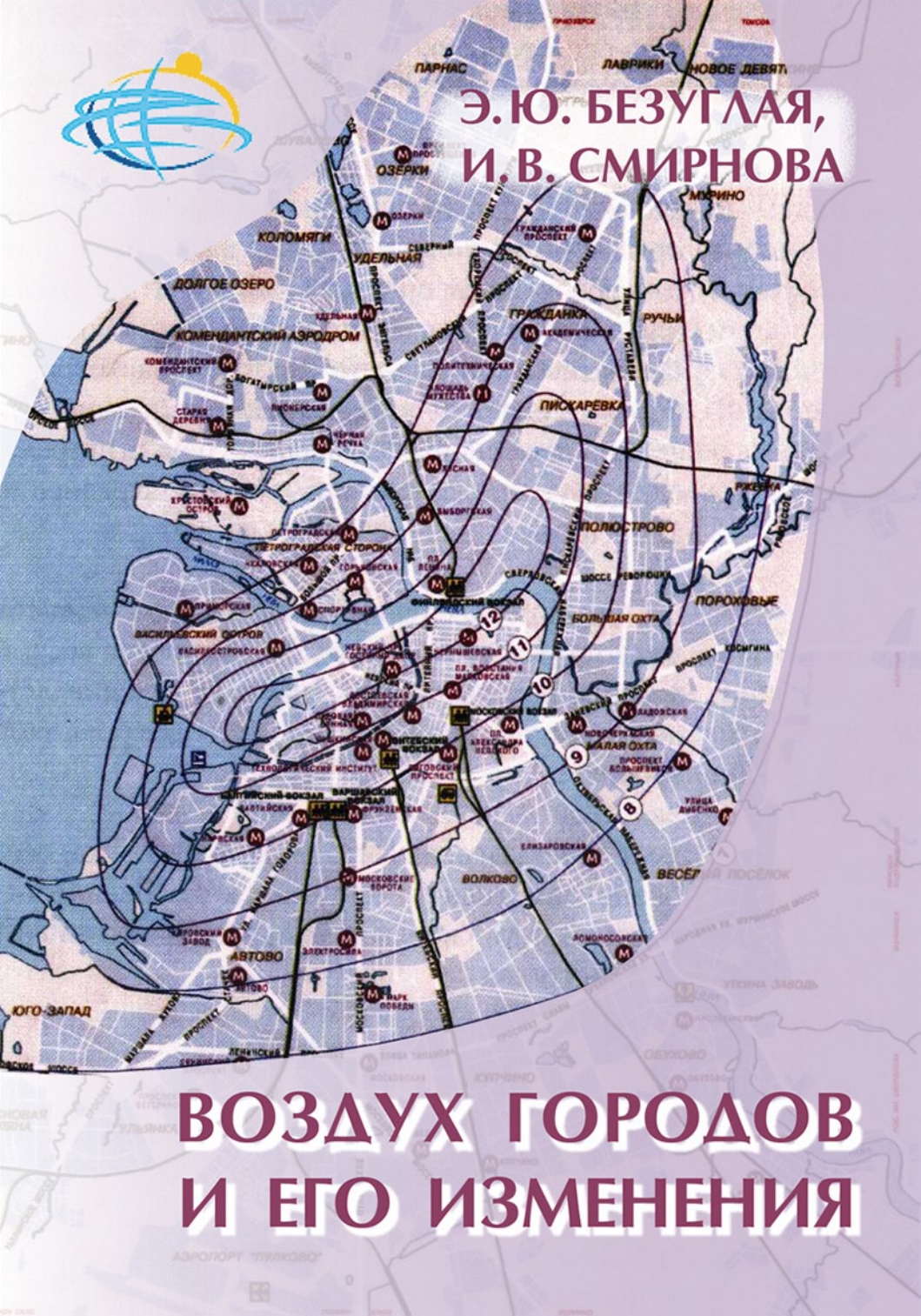




Э.Ю. БЕЗУГЛАЯ,  
И.В. СМИРНОВА



ВОЗДУХ ГОРОДОВ  
И ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ

УДК 51.510  
Б39

**Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В.**

Б39 Воздух городов и его изменения. – СПб.: Астерион, 2008. – 254 с.

**ISBN 978-5-94856-376-3**

В этой книге на основании результатов наблюдений на станциях государственной сети Росгидромета выполнен анализ состояния загрязнения воздуха и тенденции его изменения с 1996 года в городах Российской Федерации. Показан тренд концентраций различных примесей, создающих основной вклад в уровень загрязнения. Показана важная роль некоторых веществ в создании уровня загрязнения воздуха и причины ее определяющие. Особое внимание уделено изучению изменений концентраций диоксида азота и его трансформации в атмосфере, показаны диапазоны изменения концентраций озона и формальдегида. Рассмотрено влияние физико-географических факторов на формирование уровней загрязнения формальдегидом, озоном и диоксидом азота.

Чтобы показать опасность высоких концентраций примесей в атмосфере, представлены результаты влияния степени загрязнения атмосферы, выраженной через индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), на количество случаев заболеваемости взрослых и детей различными болезнями. Эти исследования позволили определить показатели высокого и очень высокого уровня загрязнения атмосферы.

© Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В., 2008

## Содержание

Введение .....	3
Глава 1 Вредные вещества в атмосферном воздухе городов .....	9
1.1 Сеть наблюдений за состоянием атмосферы .....	9
1.2 Показатели качества воздуха .....	18
1.3 Тенденция изменения загрязнения воздуха и причины ее определяющие .....	21
1.3.1 Тенденция изменения загрязнения воздуха в городах .....	21
1.3.2 Изменения концентраций вредных вещества .....	26
1.3.3 Тенденция изменений загрязнения воздуха в городах с предприятиями различных отраслей промышленности .....	44
1.4 Общая оценка качества воздуха .....	48
1.4.1 Города, где концентрации примесей превышают норматив .....	48
1.4.2 Средние и максимальные концентрации примесей в городах России .....	50
1.4.3 Качество воздуха на территории России .....	53
1.5 Влияние лесных пожаров летом 2002 г. на уровень загрязнения воздуха .....	58
1.6 Метеорологический потенциал загрязнения атмосферы .....	67
1.7 Причины изменений концентрации примесей .....	72
Глава 2 Оксиды азота в атмосфере .....	81
2.1 Общие сведения .....	81
2.1.1 Образование диоксида азота .....	81
2.1.2 Диапазоны изменения концентраций .....	84
2.1.3 Зависимость концентрации диоксида азота от широты места .....	87
2.2 Коэффициент трансформации (КТ) и его определение .....	95
2.2.1 Изменения КТ .....	95
2.2.2 Определение КТ .....	99
2.3 Результаты изучения изменений КТ .....	111
2.4 Определение КТ для промышленного источника .....	117
2.5 Многолетние изменения значений КТ .....	125
Глава 3 Озон и другие вторичные вещества .....	133
3.1 Озон .....	133

3.1.1 Суточные изменения концентрации озона.....	134
3.1.2 Годовые изменения концентрации озона.....	137
3.1.3 Закономерности связи между концентрациями озона и оксидов азота.....	139
3.1.4 Прогнозирование концентраций озона.....	146
3.2 Формальдегид.....	153
3.2.1 Основные сведения.....	153
3.2.2 Годовой ход концентрации формальдегида.....	156
3.2.3 Влияние метеорологических факторов.....	159
3.2.4 Необходимость измерения концентраций формальдегида.....	167
3.3 Вторичные вещества. Расчеты ожидаемых уровней концентрации РМ.....	169
Глава 4 Влияние атмосферного загрязнения на здоровье.....	177
4.1 Постановка задачи.....	177
4.2 Особенности информации о загрязнении атмосферы.....	184
4.3 Информационная система «АГИС-здоровье».....	188
4.3.1 Используемая информация.....	188
4.3.2 Влияние загрязнения атмосферы на возникновение злокачественных новообразований.....	190
4.3.3 Сравнение индексов риска США с реальными данными заболеваемости для городов России.....	196
4.3.4 Исследование влияния загрязнения атмосферы на здоровье детей.....	200
4.3.5 Исследование влияния загрязнения атмосферы на заболеваемость взрослых болезнями органов дыхания.....	202
4.4 Влияние загрязнения атмосферы на заболеваемость в Санкт-Петербурге.....	208
4.5 Влияние загрязнения атмосферы на заболеваемость гриппом и ОРЗ.....	209
4.5.1 Используемые данные.....	209
4.5.2 Изменения ИЗА и заболеваемости за девятнадцать лет.....	213
4.5.3 Результаты анализа данных.....	215
4.6 Об индикаторах качества воздуха.....	225
Глава 5 Вместо заключения.....	232
5.1 Еще раз анализ информации.....	232
5.2 Об «уровне загрязнения», который потеряли, и о фоновых концентрациях примесей.....	234
5.3 Воздушный бассейн Санкт-Петербурга в 2006 году.....	238
Литература.....	242

# **Глава 1 Вредные вещества в атмосферном воздухе городов**

## **1.1 Сеть наблюдений за состоянием атмосферы**

Более четырех десятилетий назад создатель гелиобиологической науки Александр Леонидович Чижевский написал: «Мы уделяем больше внимания тому, что мы едим и пьем, однако мы поразительно мало внимания уделяем воздуху, которым дышим» [55]. Эти слова, не потеряли своего значение и сегодня. Знания о качестве воздуха, как основной потребности человека, сейчас находится на одном из последних мест информационных приоритетов.

Редко кто знаком с информацией о состоянии проблемы загрязнения атмосферы в городах, поскольку почти отсутствует литература, освещающая правильно и детально состояние качества воздуха в городах России. Подобные сведения редко публикуются для общественности и населения.

В 2003 г. исполнилось 40 лет системе мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Постановлением Совета Министров СССР от 30 сентября 1963 года Главному Управлению Гидрометеослужбы при СМ СССР было поручено «изучение химического состава (загрязнения) атмосферы на территории Советского Союза». В соответствии с ним в системе Гидрометеослужбы была организована сеть пунктов, на которых производились систематические отборы проб воздуха для

определения концентраций вредных веществ в нижнем слое воздуха, а также сеть химических лабораторий для анализа этих проб. Одновременно организовались наблюдения за метеорологическими параметрами, определяющими перенос и распространение загрязняющих веществ в атмосфере, которые в большинстве случаев объясняют многие ситуации.

Методическое руководство организацией сети мониторинга в городах было поручено ГГО им. А.И.Воейкова.

Научным обоснованием организации сети наблюдений стали результаты широкого комплекса теоретических и экспериментальных исследований распространения примесей в атмосфере. Проводились экспедиционные исследования в районах мощных промышленных источников выбросов в атмосферу. На основе этих исследований в ГГО под руководством Берлянда М.Е., в сотрудничестве с рядом организаций разработаны «Указания по расчету рассеивания в атмосфере выбросов промышленных предприятий» (Генихович Е.Л., Грачева И.Г., Оникул Р.И.), которые в дальнейшем переросли в общесоюзный нормативный документ [42].

Результаты глубоких теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в ГГО, были использованы для выработки методических основ организации сети наблюдений. В книге [5] представлены результаты определения необходимого количества станций, числа наблюдений, чтобы выводы были статистически значимыми. Не случайно, что даже сотрясающий все основы производства период перестройки не смог разрушить сеть, хотя нанес ей значительный урон.

Разработанные принципы создания системы наблюдений, проведения измерений, сбора и обработки получаемой информации сохраняют свое значение и в настоящее время. Методическое обеспечение организации сети наблюдений осуществляли Янковский И.А. и Шайкова Е.А., а в последние годы – Шарикова О.П.

Для организации работы сети наблюдений под руководством Вольберга Н.Ш. и при участии Кузьминой Т.А. и Павленко А.А. были разработаны и продолжают совершенствоваться методы и приборы отбора и химического анализа проб атмосферного воздуха, методы контроля качества измерений. Анализ результатов

наблюдений для определения концентраций бенз(а)пирена и тяжелых металлов проводится в течение всего времени в НПО «Гайфун».

На основе исследований установлены нормы минимального количества станций, достаточного для построения полей концентрации примесей на территории городов, методы определения перечня веществ, контроль за которыми необходим, созданы программы наблюдений. Разработаны специальные формы регистрации данных, методы статистического анализа, комплексные программные средства обработки и обобщения информации. Результаты этих исследований легли в основу Правил, регламентирующих проведение наблюдений за загрязнением атмосферы в городах, методик химического анализа концентраций примесей в атмосфере, методов сбора, обработки и статистического анализа результатов наблюдений. Было создано Руководство по контролю загрязнения атмосферы [50], основные положения которого не устарели и сегодня.

За прошедшие годы была проведена сложная работа по организации в городах станций наблюдений и химических лабораторий. Требовались глубокие знания химиков и метеорологов. Выбраны репрезентативные места для расположения каждой станции в зависимости от скорости и направления преобладающего ветра, определен в зависимости от преобладающей в городе промышленности перечень веществ, за концентрациями которых требовались регулярные наблюдения, и решены другие задачи. В «Руководстве» [50] были собраны основные требования к выбору мест для установления станций наблюдений за загрязнением атмосферы. Количество станций в городе устанавливалось таким образом, чтобы обеспечить получение средних показателей загрязнения атмосферы на территории города с погрешностью, не превышающей 20%. Наблюдения выполнялись 3–4 раза в сутки, чтобы зафиксировать суточные изменения концентраций примесей. Сеть наблюдений за состоянием загрязнения атмосферы и создана с учетом этих требований. Программа наблюдений и методы измерений концентраций описаны в Руководстве [50].

Отличительной чертой созданной сети мониторинга загрязнения атмосферного воздуха является широкий охват и

изучение концентраций большого количества вредных веществ, находящихся в атмосфере городов. В каждом промышленном городе постоянно на многих станциях определяются концентрации десятков различных веществ, которые содержатся в выбросах предприятий. Это важное преимущество российской сети позволяющее выполнить глубокий анализ ситуации.

Для обеспечения достоверности данных измерений осуществляется постоянная двухступенчатая проверка проведения химического анализа проб воздуха. Из УГМС стандартные пробы направляются в лаборатории подведомственных городов, а из ГГО – в УГМС. Результаты проверок публикуются в Методических письмах.

В ГГО создана система сбора, анализа и обобщения результатов наблюдений, поступающих с сети, и составляются ежегодные *Обзоры* и *Ежегодники* состояния загрязнения атмосферы. Эта работа осуществляется под руководством Безуглой Э.Ю. при участии Завадской Е.К., Ивлевой Т.П., Смирновой И.В. За прошедшие годы опубликовано более 40 *Ежегодников* [25–34], в процессе подготовки которых проходило их совершенствование и разработка новых методических документов.

На основе длительного опыта усовершенствованы способы подготовки территориальных *Ежегодников*, разработан и издан *Руководящий документ* [47].

Первый *Обзор* загрязнения атмосферного воздуха был подготовлен в 1965 году по данным сравнительно небольшого числа наблюдений за загрязнением воздуха. В *Обзоре* за 1967 г. были представлена информация о загрязнении воздуха в 42 российских городах на 210 станциях наблюдений (рисунок 1.1).

В 1990 году был подготовлен первый *Ежегодник*, включающий информацию специально по городам России. До этого времени издавались *Ежегодники* в целом по городам Советского Союза и сведения о загрязнении воздуха в городах России отдельно не выделялись. С этого времени можно проследить тенденцию изменения концентраций примесей по российским городам.



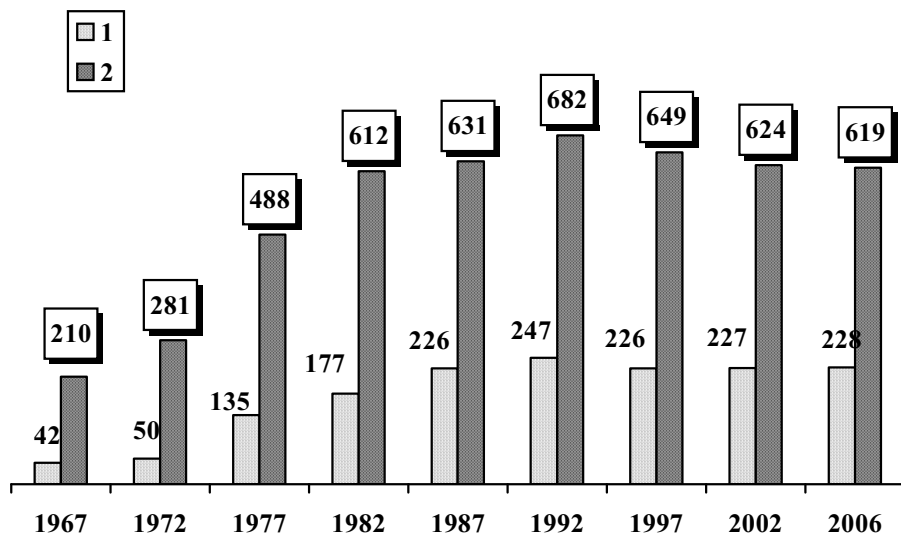


Рисунок 1.1– Общее количество городов с наблюдениями за загрязнением воздуха (1), постов (2) на сети Росгидромета

Вплоть до 1993 г. происходило планомерное увеличение числа городов и пунктов наблюдений. Развитие сети происходило за счет организации наблюдений в городах с населением более 100 тыс. жителей. Однако с 1993 г. в связи с изменением экономической ситуации в стране количество станций и городов, в которых имелась сеть наблюдений, уменьшилось почти на 10%. Уменьшение сети началось за счет сокращения числа экспедиционных, маршрутных наблюдений, наблюдений под факелами выбросов промышленных предприятий. Затем ситуация затронула и основную сеть. Сокращалось число станций, на самих станциях нередко изменялось количество сроков наблюдений, уменьшился перечень веществ, концентрации которых измерялись. Несмотря на эти недостатки, которые можно обнаружить лишь изнутри при внимательном анализе ситуации в каждом городе, в настоящее время сеть позволяет получать огромную информацию о состоянии проблемы загрязнения в России.

Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) является федеральным органом исполнительной власти, который обеспечивает функционирование и развитие единой системы мониторинга природной среды, включая наблюдения, оценку и прогноз загрязнения атмосферы, обеспечивая одновременно контроль результатов наблюдений, выполняемых различными организациями других министерств и ведомств на территории городов.

В трудные годы, связанные с резким сокращением финансирования, опытные специалисты УГМС обеспечили постоянный сбор, обработку и анализ информации для подготовки Ежегодников состояния загрязнения атмосферы в городах и не было года, чтобы такой Ежегодник не был издан.

Хочется отметить большой вклад специалистов территориальных организаций Росгидромета по сдерживанию развала сети. Они стояли у истоков создания обширной сети по изучению загрязнения атмосферы в городах и промышленных центрах России, проработали в Управлениях и непосредственно в сетевых подразделениях по изучению загрязнения воздуха многие годы. Преданность своему делу, осознание важности работы для страны позволили им сохранить структуру этой организации. И сейчас огромная армия специалистов работает, чтобы обеспечить информацию о загрязнении воздуха в городах.

По результатам наблюдений в 2006 г. сеть мониторинга загрязнения воздуха в России включает 251 город, в которых работает 674 станции. Регулярные наблюдения на сети Росгидромета проводятся в 228 городах на 619 станциях [24]. Города, в которых осуществлялись измерения концентраций примесей, показаны на рисунке 1.2.

В каждом городе оценка степени загрязнения воздуха и тенденция ее изменений рассматривается одновременно с учетом данных наблюдений на всех станциях в городе.



Рисунок 1.2 – Карта сети наблюдений за загрязнением атмосферы в городах России

В соответствии с местоположением станции подразделяются на городские фоновые (в жилых районах), промышленные (в зоне влияния промышленных предприятий), авто (вблизи крупных автомагистралей) и региональные. К городским фоновым в настоящее время относится 32% всех станций сети наблюдений, к промышленным — 32%, к авто — 28% и к региональным — 5%.

Как сказано выше, в годы перестройки постепенно сокращалась сеть Росгидромета. Уменьшалось число станций в городах, сокращалось число сроков наблюдений, прекращались наблюдения за концентрациями отдельных примесей. Это привело к тому, что в настоящее время в ряде городов количество станций стало меньше, чем требуется по Руководству. Возникли различия в количестве станций в городах с одинаковой численностью населения. Например, количество станций в крупнейших городах различается в пределах от 4 до 14.

В Руководстве было установлено 4 срока наблюдений для расчета среднего значения за сутки, при отсутствии возможности количество сроков сокращалось до 3. Лишь при определенных условиях могла возникнуть ситуация сокращения числа сроков до 2.

За прошедшие годы повсеместно исчезли станции с четырьмя сроками наблюдений, во многих городах проводятся наблюдения только в один срок, что снижает достоверность получаемых характеристик и делает невозможной оценку работы в городе.

Необходимость расчета характеристик загрязнения воздуха с достаточной статистической надежностью выдвигает требования увеличения числа сроков наблюдений за сутки и их количества за год.

В зависимости от расположения источников загрязнения воздуха и распределение потоков автотранспорта на территории города под влиянием метеорологических условий рассеивания примесей формируются поля концентраций. Исторически сложившаяся инфраструктура городов определяет наборы примесей, подлежащих мониторингу. Вещества, содержащиеся в выбросах большинства источников (основные примеси) и специфические примеси, характерные для выбросов определенных крупных источников, включаются в перечень веществ, которые следует контролировать. При низких выбросах средние концентрации некоторых из них постоянно близки к 0. Но эти вещества продолжают измерять, часто на всех станциях города. В то же время концентрации примесей, которые превышают повсеместно норму, определяются только на 1–2 станциях. Это приводит к тому, что в городе наблюдается высокое загрязнение воздуха, концентрации нескольких веществ превышают ПДК, но нельзя рассчитать показатель суммарного загрязнения атмосферы, показать поле загрязнения воздуха в городе.

Один год определяют средние концентрации одних веществ, в следующий год – других. Все это создало предпосылки для пересмотра программы наблюдений на станциях, разработки оптимальной структуры сети, которая бы при сравнительно невысоких затратах позволяла бы получать максимум информации.

Сейчас настало время определить основные проблемы сети и пути их ликвидации. Главная задача состоит в сохранении возможностей, которые существовали для комплексной оценки качества воздуха по городу в целом и в каждом районе. Для этого требуется увеличить количество измерений за каждым веществом, превышающим нормы, путем организации одновременных наблюдений на всех станциях в городе.

Чтобы создать полную картину качества воздуха в городе не обязательно вести наблюдений на десятках станций. Достаточно правильно спланировать сеть в городе, изучить качественную сторону выбросов в городе и выполнять измерения концентраций 6–8 веществ регулярно на всех станциях. Статистические расчеты, выполненные определенным образом, позволят определить индекс загрязнения атмосферы по данным каждой станции и получить сравнимые характеристики поля загрязнения воздуха в городе. Даже данные измерений на 4–5 станциях в городе дают возможность получить достаточную информацию об изменении загрязнения воздуха в пространстве и времени.

В книге «Мониторинг...» [38], которая создана в Европейском отделении ВОЗ, предлагаются способы обучения специалистов, занимающихся сетью наблюдений, планированию, и излагается стратегия мониторинга. Перечисляются оксид углерода, озон, диоксид азота, взвешенные вещества, мелкие пылевые частицы (PM) и полициклические ароматические углеводы, свинец и кадмий. Считается, что этих веществ достаточно, чтобы охарактеризовать ситуацию. В городах России, в настоящее время постоянно измеряются концентрации взвешенных веществ, оксида азота, диоксида азота, диоксида серы, оксида углерода, сероводорода, сероуглерода, фенола, формальдегида, бенз(а)пирена (БП), ароматических углеводородов, фторида водорода, хлорида водорода и десятков металлов.

Нередко в адрес Росгидромета даже со стороны ученых можно услышать пренебрежительный отзыв о возможностях сети. «Что можно узнать при отживших методах измерений и ручных способов отбора проб?». Безусловно, модернизация сети, замена ручных методов измерений концентраций веществ на автоматические газоанализаторы, является одной из главнейших задач. Но и «отжившие методы» разработаны с учетом современных способов химического анализа. На сети используются новейшие программы для обобщения и обработки информации. Поэтому не возникают неожиданности появления высокого загрязнения воздуха там, где такой проблемы нет. Используемые методы позволяют обнаружить, например, фторид водорода именно в тех городах, где есть его крупные источники выбросов, БП — там, где происходит интенсивное сжигание топлива или где

метеорологические условия неблагоприятны для рассеивания выбросов.

Новая стратегия развития сети мониторинга должна опираться на использование новых технических средств измерений, на внедрение автоматических способов измерений. Но при этом надо иметь в виду, что внедрение новых средств измерений не может быть завершено быстро в ближайшем будущем не только из-за финансовых ограничений, но и из-за отсутствия в реальности многих видов необходимых приборов. Можно заменить ручные методы автоматами для измерения  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ . Но нет газоанализаторов для измерения концентраций формальдегида, бенз(а)пирена? Приборная база в стране развита слабо, а газоанализаторы, приобретенные в других странах, могут оказаться не приспособленными для работы в сложных климатических условиях, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке. Наверное, необходимо вначале создать собственные предприятия, производящие такие приборы, средства их поверки и обеспечить сеть специалистами для обслуживания оборудования. Только затем переоснащать сеть.

В последнее время во многих странах организованы наблюдения за концентрациями озона и мелких частиц ( $\text{PM}_{10}$  и  $\text{PM}_{2,5}$ ) [122]. Директивы ВОЗ и европейского сообщества призывают к организации таких измерений. Многие страны уже отказались от старых методов определения взвешенных веществ (TSP) и переходят к измерениям только  $\text{PM}$ . Перевооружение сети мониторинга и замены способов измерения концентраций взвешенных веществ на  $\text{PM}$  требует определенных проработок, которые бы позволили ответить на вопрос, следует ли считать такую задачу первоочередной.

## **1.2 Показатели качества воздуха**

Для определения уровня загрязнения атмосферы в настоящее время используются следующие характеристики загрязнения воздуха:

- средняя концентрация примеси в воздухе,  $\text{мг/м}^3$  или  $\text{мкг/м}^3$  ( $q_{\text{ср}}$ );
- среднее квадратическое отклонение  $q_{\text{ср}}$ ,  $\text{мг/м}^3$  или  $\text{мкг/м}^3$  ( $\sigma_{\text{ср}}$ );
- максимальная разовая концентрация примеси,  $\text{мг/м}^3$  или  $\text{мкг/м}^3$  ( $q_{\text{м}}$ );

Загрязнение воздуха определяется по значениям средних и максимальных разовых концентраций примесей. Степень загрязнения оценивается при сравнении фактических концентраций с ПДК.

**ПДК** — предельно допустимая концентрация примеси для населенных мест, утвержденная Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации. Значения ПДК даны в сборнике «Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух» [45].

Средние концентрации примесей сравниваются с ПДК среднесуточными, максимальные из разовых концентраций — с ПДК максимально разовыми.

- повторяемость, %, разовых концентраций примеси в воздухе выше предельно допустимой концентрации (ПДК) данной примеси;
- повторяемость, %, разовых концентраций примеси в воздухе выше 5 ПДК;
- число случаев концентраций примесей в воздухе, превышающих 10 ПДК;

Используются три показателя качества воздуха:

- **ИЗА** — комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей. Величина ИЗА рассчитывается по значениям среднегодовых концентраций. Поэтому этот показатель характеризует уровень хронического, длительного загрязнения воздуха. Поскольку ИЗА используется очень часто, правила его расчета приведены ниже
- **СИ** — наибольшая измеренная разовая концентрация примеси, деленная на ПДК. Она определяется из данных наблюдений на станции за одной примесью, или на всех станциях рассматриваемой территории за всеми примесями

за месяц или за год. Обычно оценивается количество городов, в которых  $СИ > 5$  или  $СИ > 10$ .

- Основным показателем степени загрязнения воздуха города является интегральный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА). Правила его расчета по данным о средних концентрациях примесей приведены ниже [47,65].

ИЗА учитывает не только концентрации  $n$  различных веществ, но и вредность их воздействия на здоровье. Он рассчитывается следующим образом

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n (x_i / ПДК_i) C_i, \quad (1)$$

где  $X_i$  — средняя за год концентрация  $i$ -того вещества,  $C_i$  — коэффициент, позволяющий привести степень загрязнения воздуха  $i$ -тым веществом к степени загрязнения воздуха диоксидом серы,  $I_n$  — ИЗА, безразмерная величина.

Установлены значения  $C_i$  для веществ 4, 3, 2 и 1 классов опасности, которые равны 0,85; 1,0; 1,3 и 1,5, соответственно. Диоксид серы относится по степени вредности к третьему классу опасности ( $C_i=1$ ), к ней приводится вредность всех веществ.

В конкретном городе не на всех станциях измеряются концентрации одинакового набора веществ, их количество также различается. При такой ситуации данные расчета суммарного ИЗА не могут сравниваться между собой. Чтобы значения  $I_n$  были сопоставимы для разных городов или за разные интервалы времени в одном городе, необходимо рассчитывать их из одинакового количества ( $n=m$ ) веществ.

Вначале рассчитываются парциальные значения  $I_i$ , для каждого вещества в отдельности, затем составляется вариационный ряд, в котором  $I_1 > I_2 > \dots > I_m$  для  $m$  веществ, имеющих наибольшие значения индексов. Обычно выбирается пять веществ ( $m=5$ ) с наибольшими значениями индексов, по которым рассчитывается суммарный индекс загрязнения атмосферы  $I_m$ .

Таким образом, используемый в России индекс суммарного загрязнения атмосферы, позволяет учитывать несколько значений разных концентрации примесей, измеренные в городе, и



представить интегральный уровень загрязнения воздуха в городе за год одним числом. Значение ИЗА показывает, какому уровню загрязнения в единицах ПДК диоксида серы соответствуют фактически наблюдаемые уровни, т.е. во сколько раз суммарный уровень загрязнения воздуха превышает ПДК диоксида серы. Вследствие того, что ИЗА рассчитывается по среднегодовым значениям концентраций вредных примесей он может быть показателем хронического воздействия загрязнения воздуха города на здоровье населения.

Показатель ИЗА используется не только, чтобы суммировать данные различных концентраций, измеренных в городе. Он применяется для изучения связи между уровнем загрязнения и заболеваемостью населения. Установлена зависимость между этими показателями и оказалось возможным связать значения ИЗА с числом заболеваний различными болезнями. На основе этих исследований установлены категории низкого, повышенного, высокого и очень высокого загрязнения воздуха.

Установлены четыре категории качества воздуха в зависимости от уровня загрязнения. Уровень загрязнения считается **низким** при значениях ИЗА менее 5, **повышенным** при ИЗА от 5 до 6, СИ<5, **высоким** при ИЗА от 7 до 13, СИ от 5 до 10 и **очень высоким** при ИЗА равном или более 14, СИ>10. Подробнее см. главу 4.

## **1.3 Тенденция изменения загрязнения воздуха и причины ее определяющие**

### **1.3.1 Тенденция изменения загрязнения воздуха в городах**

Приступая к анализу качества воздуха, естественно учитываются данные о выбросах от промышленных предприятий и автотранспорта, которые публикуются в Ежегодниках по выбросам [34]. С 1990 года выбросы вредных веществ от промышленных предприятий непрерывно снижались до 1999 года (рисунок 1.3).

Далее в течение четырех лет не происходило никаких изменений, поскольку не восстанавливались закрытые предприятия и не строились новые. Лишь в 2003 году отмечен небольшой рост. Автомобильные выбросы с 1990 года медленно растут, хотя количество автомобилей за этот период увеличилось более чем в два раза.

В 2005 году суммарные выбросы от промышленности и автотранспорта составили 37,7 млн. тонн. Вероятно, это не полные сведения о выбросах, а лишь некая часть суммарных выбросов, поскольку в ней учтены лишь данные, представленные крупными источниками выбросов, выбросы мелких котельных, бензозаправочных станций, небольших производств в этой статистике не учитываются.

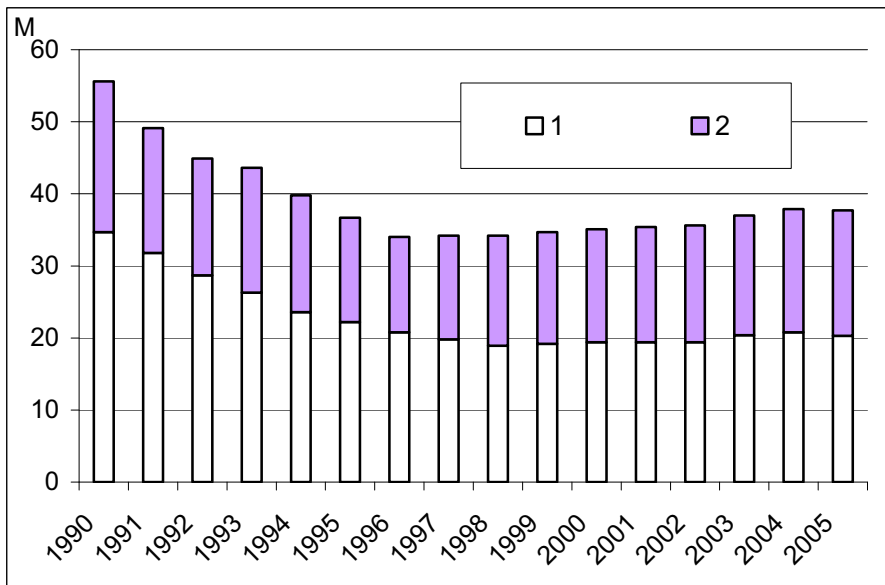


Рисунок 1.3 – Суммарные выбросы от промышленных предприятий (1) и автотранспорта (2) в целом по России за период с 1990 по 2005 год

Этот и следующие разделы подготовлены на основе материалов Ежегодников за 2005 и 2006 годы [24, 26], в которых авторы принимали непосредственное участие.

Воздушный бассейн городов это особое состояние атмосферы. Непрерывно в него поступают десятки и даже сотни различных веществ, выбрасываемых промышленными объектами, автомобилями, многочисленными котельными и другими производствами. В создаваемых выбросах атмосферных загрязнений содержится смесь твердых и жидких взвешенных частиц, а также много газообразных веществ, причем многие из них находятся в атмосферном воздухе в больших концентрациях, поэтому их измеряют и учитывают в первую очередь.

На сети мониторинга загрязнения атмосферы определяются концентрации примерно двух десятков веществ, часть из которых является первичными продуктами выбросов, а часть – результатом последующих реакций в атмосфере. На станциях сети наблюдений осуществляется отбор проб воздуха в поглотительные приборы для измерения концентраций взвешенных веществ, оксидов азота, оксида углерода, аммиака, ароматических углеводородов, сероводорода, сероуглерода, фенола, формальдегида, фторидов, многих металлов. В данной работе рассматриваются лишь некоторые вещества, представляющие наибольший интерес либо своей природой, либо высокими концентрациями, превышающими ПДК и влияющими на здоровье человека.

Каждый год вся обобщенная информация о загрязнении воздуха в городах собирается в территориальных управлениях по гидрометеорологии и охране окружающей среды (УГМС). Затем объединенная по УГМС, она поступает в Главную геофизическую обсерваторию им. А.И.Воейкова. Здесь создаются «Ежегодники состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России».

Рассматривается тенденция изменения средних по стране концентраций примесей за длительный период.

В Ежегоднике за 2005 год представлены результаты анализа изменений концентраций примесей за 10 лет [25], в данной работе анализ включает более длительный период измерений.

Из такого анализа можно увидеть, что качество воздуха улучшилось (таблица 1.1). Снизились средние концентрации взвешенных веществ, диоксида серы, диоксида азота, оксида углерода, формальдегида и аммиака. Лишь концентрации бенз(а)пирена выросли, хотя в 2005 и 2006 годах они тоже снижались.

Более четкая картина реальных изменений загрязнения воздуха просматривается при анализе других статистических показателей.

Характер тенденции загрязнения воздуха в городах России хорошо виден из рисунка 1.4, на котором показано количество городов, где среднегодовые концентрации одного или нескольких веществ, превышают 1 ПДК [26] и количество городов, в которых максимальные концентрации, превышают 10 ПДК. Количество городов, где концентрации примесей выше ПДК, за весь период не изменилось.

Если посмотреть первые и последующие годы, то увидим, что до 1999 года происходило снижение загрязнения воздуха, вызванное сокращением производства и закрытием предприятий, далее происходит рост загрязнения многими веществами и во многих местах, а с 2003 года наблюдается небольшое снижение загрязнения воздуха. Минимум количества городов, где максимальная концентрация была выше 10ПДК, отмечен в 1999 году, далее происходил рост, который завершился в 2005 году уменьшением количества городов с концентрацией выше 10 ПДК. За десять лет уменьшилось количество городов, где максимальные концентрации примесей превышают 10 ПДК, более чем в 3 раза.

Таблица 1.1 – Тенденция изменений средних концентраций примесей в городах РФ за 10-летний период 1996–2005гг.		
Вещество	Количество городов	Тенденция, %
Взвешенные вещества (ВВ)	225	—12,6
Диоксид серы	228	—20,0
Диоксид азота (NO <sub>2</sub> )	234	—13,3
Оксид углерода	199	—9,3
Бенз(а)пирен	168	+8,6
Формальдегид	141	—12,5
Аммиак	65	—8,6

Для оценки степени загрязнения атмосферы за длительный период использован комплексный показатель — индекс загрязнения

атмосферы (ИЗА). Он рассчитывается, как сказано выше, как сумма деленных на ПДК средних за год концентраций веществ, с помощью несложных расчетов приводящих величину ИЗА к величине концентрации диоксида серы. Используя комплексный ИЗА можно более четко проследить тенденцию изменения уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах (рисунок 1.5). Рисунок показывает, что количество городов, в которых уровень загрязнения атмосферы оценивается (по показателю ИЗА) как высокий и очень высокий было минимальным в 1998 году, затем начался рост, происходящий до последнего времени. Количество городов с высоким и очень высоким уровнем увеличилось почти в два раза. Это можно объяснить ростом в последующие годы концентраций бенз(а)пирена и формальдегида во многих городах. Таким образом, при снижении средних по России концентраций почти всех веществ, высокий уровень загрязнения сохраняется. В 2005 году выявлено 140 городов, где ИЗА больше 7, а в 2006 — 141.

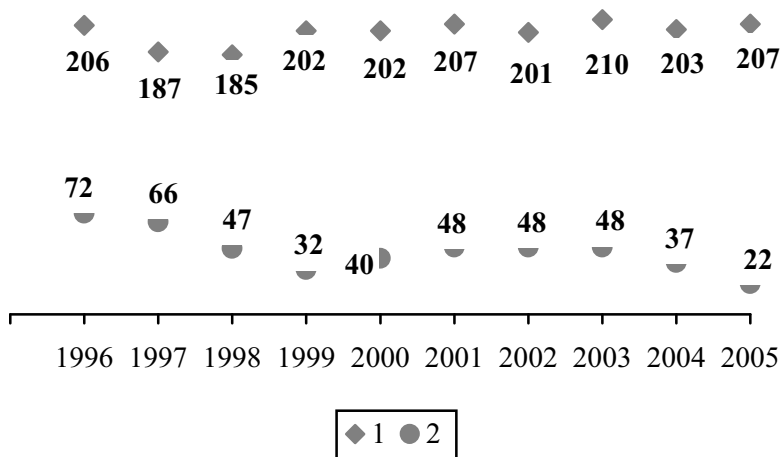


Рисунок 1.4 – Количество городов, в которых среднегодовые концентрации одного или нескольких веществ превышали 1 ПДК (1), отмечались значения СИ больше 10 (2)

Почти не изменилось количество городов, которые ежегодно включаются в Приоритетный список городов с очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха (рисунок 1.5).

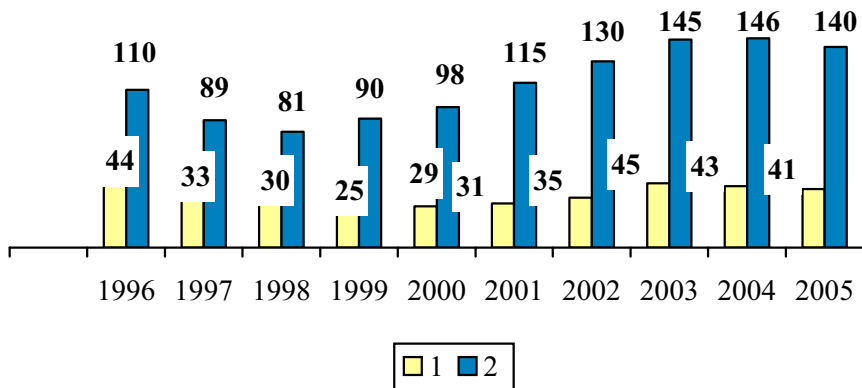


Рисунок 1.5 – Количество городов, в которых уровень загрязнения высокий и очень высокий (ИЗА > 7) (1), городов в Приоритетном списке (ИЗА > 14) (2)

Приоритетный список городов определяется по уровню загрязнения, выраженному через значение ИЗА, соответствующее очень высокому уровню загрязнения атмосферного воздуха, ИЗА равному и более 14. Список Приоритета приведен далее.

## 1.3.2 Изменения концентраций вредных вещества

### 1.3.2.1 Взвешенные вещества

Вещество, которое обычно называют «взвешенные вещества» (ВВ), включает много различных компонент. В него входит пыль, зола, сажа, дым, сульфаты, нитраты и другие твердые составляющие. ВВ образуются в результате сгорания всех видов топлива и при производственных процессах. В зависимости от состава выбросов они могут быть и высокотоксичными и почти безвредными. Они могут иметь как антропогенное, так и

естественное происхождение, например, образовываться в результате почвенной эрозии. В данных о выбросах все эти вещества отнесены к твердым.

Взвешенные частицы варьируют в размерах, по составу и природе образования. Воздушные частицы взвешенных веществ больших и малых размеров, включая мелкие частицы, называемые РМ, представляют собой сложное соединение органических и неорганических субстанций. Мелкие частицы делятся на РМ<sub>10</sub> и РМ<sub>2,5</sub> в зависимости от их размера. Крупные частицы обычно содержат почвенные материалы, пыль от дорог и выбросы от промышленности. Мелкие частицы содержат больше кислот, а также сульфаты.

Под влиянием метеорологических условий происходит перемешивание всех составляющих атмосферы, перенос и рассеивание примесей на большие расстояния от города, вымывание их осадками и осаждение в тумане. Атмосфера, как среда обитания различных веществ, не является химически инертной. Это особенно важно подчеркнуть. Непрерывно в ней происходят различные химические процессы, фотохимические реакции, вызванные поступлением солнечной энергии и изменениями температуры воздуха. Одни вещества соединяются с другими, создавая новые вторичные вещества, которые также разлагаются на первичные продукты выбросов или производят новые вещества. Реакций, происходящих в атмосферном воздухе множество. В работах на эту тему перечисляются сотни реакций, но это не дает полную картину. Воздушный бассейн, как огромный реактор непрерывно производит одни вещества и возвращает другие. Важно знать, что изучаемые в настоящее время на сети компоненты загрязнений являются лишь небольшой частицей того, что находится в атмосфере и производится в ней.

До настоящего времени в России измерения концентраций РМ не проводились и для них не установлены значения ПДК. Их вероятные концентрации можно оценить из соотношений между взвешенными веществами, называемыми ТSP, и мелкими частицами РМ, полученными в различных странах.

В США на основании результатов наблюдений установлена совершенно четкая связь между средними и максимальными концентрациями ТSP, РМ<sub>10</sub> и РМ<sub>2,5</sub>, что позволило установить

стандарты для этих веществ (таблица 1.2). Отношение стандартов всех этих веществ за год к стандарту за сутки мало различаются между собой.

Из этой таблицы видно, что при установлении стандартов полагалось, что  $PM_{10}$  составляют треть от взвешенных веществ, а  $PM_{2,5}$  — 20%. В работах европейских ученых называются такие значения:  $PM$  составляет 0,6–0,7 TSP. Более подробно об этом поговорим в главе 3.

Стандарт	Средний за год	Максимальный за сутки	Отношение максимального за сутки к среднему
TSP(взвешенные вещества), США	75	260	3,5
$PM_{10}$	50	150	3
$PM_{2,5}$	15	65	4,3
ВВ, Россия	150*	500**	3,3

\* ПДКс.с., \*\* ПДКм.р.

*Взвешенные частицы при проникновении в органы дыхания человека приводят к нарушению системы дыхания и кровообращения. Вдыхаемые твердые частицы влияют как непосредственно на респираторный тракт, так и на другие органы за счет токсического воздействия входящих в состав частиц различных компонентов. Люди с хроническими нарушениями в легких, с сердечно-сосудистыми заболеваниями, с астмой, частыми простудными заболеваниями, пожилые и дети особенно чувствительны к влиянию **мелких взвешенных частиц диаметром менее 10 микрон** ( $PM_{10}$ ). Особенно опасно сочетание высоких концентраций ВВ и диоксида серы.*

В документах Европейского экономического сообщества многократно указывается важность организации наблюдений за концентрациями  $PM$ . Основанием для этого служат исследования, доказывающие их влияние на увеличение случаев смертности среди населения в связи с ростом концентраций  $PM$ , а также свидетельства, что  $PM$  содержат в своем составе многие вредные компоненты.



Измерениями РМ или измерениями взвешенных веществ нельзя уничтожить влияние этих веществ на организм человека. Можно лишь узнать уровни загрязнения атмосферы этими веществами. Достаточно четкие соотношения между РМ и взвешенными веществами позволяют рассчитать ущерб ими создаваемый. Измерения концентраций РМ нужно в первую очередь, производителям этих новых для сети приборов. Поэтому может быть достаточно изучение изменений концентрации взвешенных веществ.

Тенденция изменения концентрации взвешенных веществ (рисунок 1.6), полученная из многолетней информации, собранной в Ежегодниках, наглядно показывает снижение концентрации, происходящее в течение 1990–2006 гг. Можно выделить два периода. Первый продолжался до 1999 года и связан с сокращением отдельных производств и закрытием предприятий в период перестройки, что подтверждалось тенденцией снижения концентраций взвешенных веществ. Второй, после 1999 года, проявился более резким снижением концентраций взвешенных веществ до конца рассматриваемого периода.

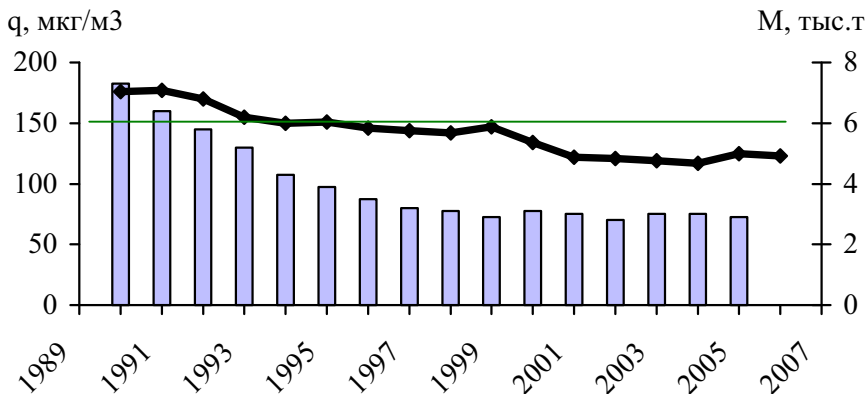


Рисунок 1.6 – Среднегодовые концентрации (q) взвешенных веществ в 1990–2006 гг. и выбросы (M) твердых веществ в 1990–2005 гг.

Данные о выбросах твердых веществ от промышленных предприятий также указывают на планомерное снижение их