

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА ИМ.  
И.М. ГУБКИНА

---

КАФЕДРА ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ  
КАФЕДРА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

А.Г. Дедов, С.В. Маркин, С.В. Мещеряков, Г.И. Журавлев

**ХИМИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА В АТМОСФЕРЕ.  
ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА И ЕГО ИСТОЧНИКИ**

Москва, 2001

УДК 502

Химические вещества в атмосфере. Загрязнение воздуха и его источники: Учебное пособие / Дедов А.Г., Маркин С.В., Мещеряков С.В., Журавлев Г.И. – М.: РГУНГ им. И.М. Губкина, 2001. – 41с.

Настоящее учебное пособие содержит основные сведения о содержании химических веществ в атмосфере, загрязнении воздушного бассейна химическими токсикантами, выбросах загрязняющих веществ и их основных источниках, а также о воздействии главных атмосферных загрязнителей на биосферу.

Для студентов, аспирантов и специалистов в области неорганической химии и экологии.

*Рецензенты - С.В. Лысенко, д-р хим. наук, профессор МГУ им. М.В. Ломоносова*

*С.И. Славин, к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии РГУНГ им. И.М. Губкина*

## 1. Загрязнение атмосферы

Воздух, которым дышат люди, составляет основу системы их жизнеобеспечения. Он нужен каждую минуту, ночью и днем, во время сна и бодрствования. В среднем за свою жизнь человек делает более 500 миллионов вдохов, и если воздух не такой чистый, как это необходимо, его вредное воздействие на легкие и на здоровье в целом возрастает в сотни миллионов раз.

Загрязнение воздуха - результат выбросов загрязняющих веществ из различных источников. Следует отметить, что из воздуха загрязняющие вещества попадают в воду, почву, через продукты питания - в организм человека.

В соответствии с концепцией защиты атмосферы, принятой в некоторых странах, загрязнением атмосферы считается прямое или косвенное введение в нее любого вещества в таком количестве, которое воздействует на качество и состав наружного воздуха, нанося вред людям, живой и неживой природе.

По принятой у нас в стране терминологии (Федеральный закон "Об охране атмосферного воздуха" № 96-ФЗ от 4 мая 1999 г.) загрязнение атмосферного воздуха определяется как "поступление в атмосферный воздух или образование в нем вредных (загрязняющих) веществ в концентрациях, превышающих установленные государством гигиенические и экологические нормативы качества атмосферного воздуха", а вредное (загрязняющее) вещество - как "химическое или биологическое вещество либо смесь таких веществ, которые содержатся в атмосферном воздухе и которые в определенных концентрациях оказывают вредное воздействие на здоровье человека и окружающую природную среду".

Динамическое загрязнение атмосферы происходит главным образом в нижнем ее слое, до 500-1500 м, в то же время, в результате происходит и постепенное изменение состава более высоких слоев, и эти изменения воздей-

ствуют уже на всю планету целиком.

По происхождению загрязняющие атмосферу вещества делят на природные и антропогенные. По составу выбросы подразделяются на газообразные, жидкие и твердые.

Источники выбросов подразделяют на стационарные (заводы, котельные, трубы, фонари, резервуары и т.д.) и передвижные (все виды транспорта). Кроме того, источники загрязнения атмосферы различаются по мощности (мощные, крупные, мелкие), высоте выброса (низкие, средней высоты и высокие), температуре отходящих газов (нагретые и холодные).

Само собой разумеется, что точного подсчета количества веществ, выбрасываемых в атмосферу Земли, не существует. Во-первых, достаточно достоверной оценке поддаются только выбросы от антропогенных источников, а во-вторых, выбросы от природных источников (вулканическая деятельность, пыление пустынных территорий, лесные пожары и т.д.) от года к году могут существенно меняться.

Тогда как вклад антропогенных источников в выбросы аэрозолей по разным оценкам составляет от 5 до 50 %, то сернистого ангидрида в результате деятельности человека выбрасывается в 40-50 раз больше, чем основными природными источниками. Выбросы некоторых опасных веществ являются также в основном антропогенными. Так, количество ртути, образующейся при сжигании угля, оценивается в 3 тыс. тонн ежегодно, в то время как из природных источников ртуть в атмосферу практически не поступает. То же относится к опаснейшим ксенобиотикам - диоксидам и полихлорированным дифенилам. Другая ситуация с углеводородами: из природных и антропогенных источников его выделяется примерно одинаковое количество. А антропогенных выбросов аммиака, например, на 1-1,5 порядка меньше, чем природных.

В атмосфере загрязняющие вещества могут претерпевать изменения,

включая химические превращения в другие, порой более опасные вещества.

Система глобального мониторинга окружающей среды, действующая в рамках программы ЮНЕП, ведет регистрацию состояния воздуха на 175 станциях в 75 странах. В последних сообщениях о содержании сернистого газа в 54 городах говорится, что его содержание было допустимым в 27 городах, на пределе допустимого в - 11 (в том числе в Лондоне, Нью-Йорке и Гонконге) и недопустимым в - 16 (в том числе в Рио-де-Жанейро, Париже и Мадриде).

Уровни содержания пыли и сажи были допустимыми в 8 городах, предельными в - 10 (в том числе в Торонто и Сиднее) и недопустимыми - в 23 (включая Бангкок, Тегеран и Рио-де-Жанейро).

В общем, почти 900 млн. жителей городов подвергаются вредному воздействию сернистого газа, содержащегося в воздухе в повышенном количестве, и более миллиарда страдает от загрязнения воздуха пылью и сажой.

## **2. Воздействие атмосферного загрязнения на биосферу**

### **2.1. Основные загрязняющие вещества в атмосферном воздухе и их воздействие на живые организмы**

Результаты исследований, многие из которых проходили под эгидой Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) и в качестве международных программ, показали, что на здоровье населения оказывают действие следующие факторы:

социальные условия и образ жизни (50-52%);

генетический статус (20-22%);

состояние окружающей среды (18-20%);

состояние здравоохранения (7-12%).

Вместе с тем, уже сегодня имеются данные, что до 77% всех заболева-

ний, более 50% всех смертей и около 60% случаев неправильного физического развития связаны, так или иначе, с условиями изменяющейся природной среды. Кроме того, по мнению ВОЗ, 75-90% всех онкологических заболеваний связано с действием факторов окружающей среды.

Известно, что более 1/3 всех заболеваний детей связано с прямыми или провоцирующими воздействиями загрязнений окружающей среды, при этом подавляющее большинство заболеваний взрослого населения берет свое начало в детском и подростковом возрасте.

Основными загрязняющими веществами, попадающими в атмосферу из антропогенных источников, являются диоксид серы, оксид углерода, оксиды азота, углеводороды и летучие органические соединения (ЛОС). Кроме перечисленных веществ, в атмосферу попадает большое количество других соединений, многие из которых являются мутагенами и канцерогенами. К таким веществам относятся бензол, мышьяк, никель, кадмий, шестивалентный хром, винилхлорид, диоксины и т.д.

## 2.2. Диоксид серы и сероводород

Сернистый газ - наиболее вредный газ из числа распространенных загрязнителей воздуха. Особенно он опасен для здоровья людей, страдающих заболеваниями дыхательных путей. Диоксид серы вызывает раздражение слизистой верхних дыхательных путей при концентрации более  $16 \text{ мг/м}^3$ , глаз - при концентрации более  $50 \text{ мг/м}^3$ .

Диоксид серы, проникая в организм растений, принимает участие в различных окислительных процессах, которые протекают с участием свободных радикалов, образованных из  $\text{SO}_2$  в результате химических реакций. Они окисляют ненасыщенные жирные кислоты мембран, что в дальнейшем отрицательно влияет на многие процессы (дыхание, фотосинтез и др.).

Опасность загрязнения диоксидом серы (а также окисульфидом, серо-

углеродом, сероводородом и диметилсульфидом, которые в атмосфере превращаются в  $\text{SO}_2$  связана еще и с увеличением кислотной седиментации (как "сухой", так и "влажной"). Попадая в атмосферу, он окисляется до  $\text{SO}_3$ , который растворяется в капельках влаги с образованием серной кислоты. Образование  $\text{H}_2\text{SO}_4$  приводит к выпадению кислотных дождей. Кроме  $\text{SO}_2$ , источником кислотных дождей являются оксид и диоксид азота, которые в результате протекающих в атмосфере реакций образуют азотную кислоту. Кислотные дожди вызывают повышение кислотности в водоемах, которое может приводить к гибели рыб и других организмов. Это связано с тем, что в кислой среде повышается растворимость ионов алюминия (а также тяжелых металлов). При концентрации более  $0,2 \text{ мг/м}^3 \text{ Al}^{3+}$  токсичен для рыб. Кроме того, ионы алюминия связывают фосфаты, в результате чего снижается количество питательных веществ в водоемах. Кислотные дожди влияют на строение, биологию и химию почв, приводя к гибели растений. Повышение концентрации диоксида серы на  $1 \text{ мг/м}^3$  снижает урожайность пшеницы на 40-60 %, в зерне падает содержание белка.

Сероводород отрицательно действует на центральную нервную систему, кровь и окислительные процессы в организме. Воздействие на кровь проявляется в уменьшении содержания эритроцитов и гемоглобина, повышении свертываемости и вязкости крови. Влияние на окислительные процессы проявляется в снижении способности крови насыщаться кислородом, а также в снижении окислительной способности тканей.

### 2.3. Оксид углерода

При концентрации более 1% оксид углерода отрицательно влияет на растения. Сочетание ничтожно малых количеств этилена с  $\text{CO}$  вызывает значительные повреждения растений. Токсичность действия оксида углерода для человека и животных связана с его способностью связываться с ионами железа в молекуле гемоглобина в 210 раз более эффективно, чем кислород.

Образующийся в результате этой реакции карбоксигемоглобин теряет способность переносить кислород. Например, у человека, вдыхавшего в течение нескольких часов 0,1% CO, способность крови переносить кислород снижается на 60%. Оксид углерода вызывает головную боль, общую утомляемость, эндокринные нарушения.

#### 2.4. Оксиды азота

Оксиды азота в дыхательных путях образуют соединения азотной и азотистой кислот, которые раздражают слизистые оболочки. При небольших концентрациях  $\text{NO}_2$  наблюдается нарушение дыхания, кашель. В первую очередь повышение концентрации диоксида азота вызывает болезненные симптомы у больных астмой и других групп людей с повышенной чувствительностью. Воздействие оксидов азота способствует возникновению эмфиземы легких, ухудшению зрения.

Как уже упоминалось выше,  $\text{NO}_x$ , как и  $\text{SO}_2$ , участвуют в образовании кислотных дождей. Кроме того, оксиды азота играют ключевую роль в образовании "фотохимического" смога, влияют на разрушение озонового слоя (большую роль в этом играют  $\text{NO}_x$ , выбрасываемые двигателями реактивных самолетов).

#### 2.5. Углеводороды

Углеводороды обладают сильными отравляющими свойствами, оказывают вредное действие на центральную нервную систему, отрицательно влияют на работу печени, эндокринной и сердечно-сосудистой системы.

Ненасыщенные углеводороды вызывают симптомы раннего старения растений, хронические поражения, угнетение роста, являются одной из основных причин образования фотохимического смога.



## 2.6. Взвешенные частицы

При проникновении взвешенных частиц в органы дыхания происходит нарушение системы дыхания и кровообращения. Вдыхаемые частицы влияют как на респираторный тракт, так и на другие органы за счет токсического действия входящих в состав частиц компонентов. Так, сажа токсичнее углеводородов в 30 раз, CO - в 20 раз, NO<sub>x</sub> - в 1,7 раза. Сажистые частицы благодаря своему строению являются прекрасными адсорбентами, в первую очередь, для полициклических углеводородов, таких как бенз[а]пирен. Опасно сочетание высоких концентраций взвешенных частиц и SO<sub>2</sub>. Взвешенные вещества оказывают отрицательное действие на растения. Так, частицы сажи забивают устьица растений, препятствуя нормальному газообмену растения.

## 2.7. Свинец

Свинец широко используется в производстве электротехнической продукции, как компонент различных сплавов, для защитных экранов от гамма-излучения, при производстве электрических аккумуляторов, красок и пигментов, в химическом машиностроении, пиротехнике, полиграфии, сельском хозяйстве.

Основными источниками загрязнения биосферы свинцом являются: выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания; высокотемпературные технологические процессы (за счет сжигания нефти и бензина поступает приблизительно 50% антропогенного выброса); добыча и переработка цветных металлов.

Перенос свинца и его распространение в объектах окружающей среды происходит, главным образом, через атмосферу.

Токсичность действия свинца связана с его способностью замещать кальций в костях и нервных волокнах. Концентрация свинца в костях современного человека в 700-1200 раз больше его содержания в скелетах людей, живших 1600 лет назад. Первые симптомы отравления проявляются в форме

повышенной возбудимости и бессонницы, позже - утомляемости и депрессии, малокровия, схваткообразных болей в животе. Более поздние симптомы проявляются в расстройстве функций нервной системы и поражении головного мозга. Свинец, как и кадмий, и ртуть, отрицательно влияет на реакцию глазной сетчатки, вызывая ухудшение сумеречного зрения.

Аэрозоли галоидных соединений свинца могут подвергаться фотохимическому превращению и участвовать в образовании смога.

## 2.8. Кадмий

Основными источниками поступления кадмия в атмосферу являются производство цветных металлов, сжигание твердых отходов, угля, горно-металлургические комбинаты и т.д.

Санитарно-эпидемиологические данные указывают на чрезвычайную опасность кадмия для человека в связи с тем, что этот металл весьма медленно выводится из организма (0,1% в сутки), вследствие чего отравление кадмием может принимать хроническую форму. Его симптомами являются поражение почек, нервной системы, легких, нарушение функций половых органов, боли в костях скелета.

## 2.9. Ртуть

Ежегодно в атмосферу поступает более 6000 тонн ртути, из них только 2500 тонн от естественных источников.

Ртуть широко используется в электротехнической промышленности, приборостроении, на хлорных производствах, как легирующая добавка, теплоноситель, катализатор при синтезе пластмасс, в лабораторной и медицинской практике, в сельском хозяйстве.

Основными источниками загрязнения окружающей среды являются пи-рометаллургические процессы получения металла, сжигание органических

видов топлива, производство цветных металлов, красок, фунгицидов и т.д.

При вдыхании паров ртути этот металл концентрируется, большей частью, в мозге. В результате возникают существенные нервно-психические нарушения. Состояние при этом трудно отличить от истинной шизофрении - человека охватывает тревога, ощущение надвигающейся катастрофы, слуховые и обонятельные галлюцинации, бред, головокружение и постоянные головные боли. Снижается память, расстраивается речь, возникает общая заторможенность.

На молекулярном уровне действие ртути обусловлено тем, что она блокирует активные группы молекул белка, может вызывать нарушение биосинтеза белка. Установлены гонадотоксические свойства ртути и способность вызывать ненаследуемые морфологические изменения (уродства). Особо чувствительными к действию ртути являются эмбрионы.

## 2.10. Хром (VI)

Поступление хрома в атмосферу происходит, главным образом, из антропогенных источников (при использовании хрома, сжигании угля, добыче руды и производстве металлов).

При воздействии на людей выделяют желудочную и легочную форму интоксикации. Отмечаются различные дерматиты, аллергические реакции, раздражение верхних дыхательных путей, заболевания слизистой носа. Большинство из испытанных соединений хрома обладают выраженной генотоксичностью. Эпидемиологическими исследованиями установлено, что у людей, профессионально контактирующих с хроматами, чрезвычайно высока частота бронхогенного рака. Это позволило экспертам отнести хром и его соединения к группе I канцерогенного риска для человека.

## 2.11. Мышьяк

Источниками поступления мышьяка в атмосферу являются добыча и пе-

переработка мышьяксодержащих руд, пирометаллургия и т.д.

Механизмами биологического действия мышьяка являются инкорпорация молекулы мышьяка в структуру гемоглобина, замещение мышьяком фосфора в ДНК и т.д.

Основные поражения мышьяком: нарушения тканевого дыхания, накопление в организме кислых продуктов обмена, нарушения гемодинамики, расстройство сердечной деятельности, гемолиз и анемия, дегенератические и некротические процессы в тканях на месте контакта, эмбрио- и гонадотоксические и тератогенные эффекты. Мышьяк может вызывать рак легких и кожи. Соединения мышьяка обладают и мутагенным действием.

## 2.12. Диоксины

Диоксины относят к числу ксенобиотиков - чужеродных живым организмам веществам. Диоксины в виде примесей возникают при производстве многих химических веществ: хлорированных фенолов, гербицидов и др. Кроме того, они попадают в окружающую среду из-за нарушения правил захоронения промышленных отходов, при термическом разложении технических продуктов, сжигании остатков сточных вод, в процессах металлообработки и в выбросах металлургической промышленности и т.д.

Диоксины опасны, прежде всего, своей высочайшей токсичностью даже в самых малых концентрациях. Эти вещества являются универсальными клеточными ядами. Маркерный агент этой группы - 2,3,7,8-тетрахлордибензо-п-диоксин (ТХДД) - в 67000 раз ядовитее цианистого калия и в 500 раз стрихнина. ТХДД угнетает у животных клеточный и гуморальный иммунитет, действует на разные системы органов, является мутагенным, тератогенным и канцерогенным агентом.

Диоксины вызывают у человека кожные заболевания, нарушения других систем органов, неврологические и психические эффекты.

### 2.13. Асбест и другие минеральные волокна

Асбестом обычно называют ряд природных волокнистых материалов, относящихся к группам амфиболов и серпентинов.

Самыми большими потребителями асбеста являются асбестоцементная промышленность, производства асфальта и плиток для половых покрытий. Кроме того, асбест широко применяется в производстве изоляционных и огнеупорных материалов, в автомобильной промышленности и т.д.

Асбест способен вызывать фиброзы и отнесен к I группе канцерогенного риска.

### 2.14. Полициклические ароматические углеводороды

Соединения этой группы встречаются практически везде. Индикаторное значение для всех полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) имеет бенз[а]пирен. Основными антропогенными источниками являются промышленные выбросы от коксохимической, металлургической, нефтеперерабатывающей промышленности, теплоэнергетики, транспорта. Бенз[а]пирен и другие ПАУ образуются в процессе горения различных горючих материалов (уголь, сланцы, древесина, нефтепродукты) и попадают в атмосферу со смолистыми веществами (дымовые газы, копоть, сажа и т.д.).

Бенз[а]пирен является безусловным канцерогеном, относящимся к I группе канцерогенного риска. Бенз[а]пирен и многие другие ПАУ обладают мутагенным действием. Кроме того, бенз[а]пирен обладает эмбриотоксическим и тератогенным действием.

## 3. Состояние загрязнения атмосферы в городах России

Согласно Государственному докладу "О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1998 году" сеть мониторинга качества воздуха включает 249 городов, в которых работает 694 станции, из них регулярные наблюдения Росгидромета проводятся в 226 городах на 649

станциях. За 1998 г. прекращены наблюдения в 11 городах. Измерения концентраций бенз[а]пирена проведены только в нескольких городах.

По данным регулярных наблюдений, за пятилетний период (1994–1998 гг.) средние за год концентрации взвешенных веществ, диоксида серы, аммиака, фенола, фторида водорода и формальдегида снизились на 5–13%, сероуглерода – на 48%. За тот же период средние концентрации оксида углерода, оксида и диоксида азота возросли на 4–7%. В 1998 г. в целом по городам России средние концентрации диоксида азота и фторида водорода превышали предельно допустимые концентрации (ПДК), сероуглерода, формальдегида и бенз[а]пирена – 2 ПДК и более.

В 185 городах (72% городов, где есть наблюдения), численность населения которых составляла 60,6 млн. чел., средние за год концентрации одного из контролируемых веществ превышали ПДК. В городах, где средние за год концентрации взвешенных веществ и диоксида азота были выше 10 ПДК, проживало 30 млн. чел., в том числе 20,4 млн. чел. составляло население городов с концентрацией диоксида азота выше 10 ПДК. Определяют проблему загрязнения атмосферы в городах, главным образом, высокие концентрации взвешенных веществ, диоксида азота, аммиака, формальдегида, фенола. Концентрации взвешенных веществ превышали ПДК в 73 городах, диоксида азота – в 96 городах, формальдегида – в 103 городах. По сравнению с 1997 г. увеличилось количество городов, где средние концентрации формальдегида были выше ПДК.

Во многих городах превышали ПДК средние за год значения концентраций нескольких веществ, в том числе в 62 городах были выше ПДК средние концентрации трех и более веществ.

Разовые концентрации взвешенных веществ, оксида углерода, диоксида азота, аммиака, сероводорода, сажи, фенола, формальдегида и некоторых других веществ выше ПДК наблюдались в 63–95% городов.

Имеется 16 городов, где концентрация одного или нескольких веществ превышала ПДК более чем в 50% наблюдений.

Ежегодно выделяются города с наиболее высоким уровнем загрязнения воздуха, в которых индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) равен или больше 14. Этот список включает 30 городов (таблица 1).

Таблица 1. Города с наибольшим уровнем загрязнения воздуха в 1998 г.

Город	Вещества, определяющие высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха	Город	Вещества, определяющие высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха
Ангарск	Формальдегид, бенз[а]пирен	Новгород	Взвешенные вещества, аммиак, диоксид азота, бенз[а]пирен, формальдегид
Архангельск	Сероуглерод, формальдегид, метилмеркаптан	Новокузнецк	Формальдегид, взвешенные вещества, фтористый водород, диоксид азота
Благовещенск, Амурская область	Формальдегид, взвешенные вещества	Новоросийск	Формальдегид, диоксида азота, оксид азота, взвешенные вещества
Бийск	Формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота	Омск	Формальдегид, ацетальдегид, сажа
Братск	Диоксид азота, формальдегид, фтористый водород, сероуглерод	Ростов-на-Дону	Диоксид азота, формальдегид, взвешенные вещества
Иркутск	Формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота	Санкт-Петербург	Фенол, диоксид азота, аммиак, бенз[а]пирен
Кемерово	Сероуглерод, аммиак, формальдегид, сажа	Саратов	Диоксид азота, формальдегид, взвешенные вещества
Красноярск	Бенз[а]пирен, взвешенные вещества, хлор	Селегинск	Формальдегид, фенол, сероуглерод, метилмеркаптан

Краснодар	Фенол, формальдегид, взвешенные вещества	Ставрополь	Формальдегид, диоксид азота, фенол
Кызыл	Бенз[а]пирен, формальдегид, взвешенные вещества	Сызрань	Формальдегид, диоксид азота
Липецк	Фенол, аммиак, формальдегид, диоксид азота	Тюмень	Взвешенные вещества, формальдегид, свинец
Магадан	Фенол, формальдегид, диоксид азота	Улан-Удэ	Взвешенные вещества, формальдегид, диоксид азота
Магнитогорск	Диоксид азота, фенол, взвешенные вещества	Хабаровск	Бенз[а]пирен, диоксид серы, диоксид азота, формальдегид, аммиак
Москва	Аммиак, диоксид азота, формальдегид	Чита	Бенз[а]пирен, формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота
Нижний Тагил	Фенол, формальдегид, сероуглерод	Южно-Сахалинск	Сажа, взвешенные вещества, диоксид азота

В 1998 г. вновь появились в этом списке города Иркутской области (Ангарск, Братск и Иркутск). В Москве и Санкт-Петербурге высокое загрязнение воздуха охватывает лишь отдельные крупные районы, где ИЗА более 14.

В большинстве субъектов Российской Федерации есть города, в которых максимальная концентрация какого-либо вещества в течение 1998 г. превышала 10 ПДК, всего таких городов в стране 47. Если учитывать города, где в течение предыдущих трех лет среднемесячные концентрации бенз[а]пирена превышали 10 ПДК (но в 1998 г. наблюдений не было), то эту цифру следует увеличить на 24.

В 81 городе уровень загрязнения воздуха характеризуется как высокий и очень высокий. На территориях Краснодарского края, Архангельской, Иркутской, Московской, Самарской и Сахалинской областей имеется по 3 города и более с высоким и очень высоким средним уровнем загрязнения воздуха (ИЗА > 7). В Республике Тыва, Ленинградской, Липецкой и Омской об-



ластях, Таймырском автономном округе более 50% городского населения проживает на территориях с очень высоким загрязнением воздуха. В 57 городах наибольшая повторяемость превышения ПДК для одной из примесей составила 20% и более. В Республике Башкортостан, Красноярском крае, Архангельской, Иркутской, Нижегородской, Оренбургской, Ростовской и Сахалинской областях имеется по 5–6 городов, где средняя за год концентрация одного или нескольких веществ превышает ПДК. В Приморском крае, Ленинградской, Мурманской и Свердловской областях таких городов 7–8, в Московской области – 9.

В 1998 г. высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха (более 10 ПДК) отмечались в 37 городах страны, число таких случаев составило 255. В 1997 г. было зафиксировано 283 аналогичных случая в 34 городах. Экстремально высокое загрязнение (более 50 ПДК) ацетальдегидом зафиксировано в г. Омске.

Таблица 2. Перечень городов Российской Федерации с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха

Город	Вещество	Число случаев высокого загрязнения атмосферного воздуха	Максимальная концентрация, ПДК
Александровск-Сахалинский	Сажа	1	15
Архангельск	Сероводород	1	10,2
Барнаул	Диоксид азота	4	24
	Сажа	2	12
Бийск	Пыль	1	14
Екатеринбург	Этилбензол	71	47
	Бензол		19
Ижевск	Диоксид азота	1	11
Казань	Диоксид азота	1	18
Канск	Диоксид азота	5	18
Кемерово	Хлористый водород	1	12

Красноярск	Сероводород	3	20
	Этилбензол	10	23
	Пыль	2	11
Кстово	Фенол	1	12
Липецк	Аммиак	21	10,5
	Акролеин		40
Михаил	Диоксид азота	11	13
Магнитогорск	Диоксид азота	7	18
	Аммиак	1	12
	Этилбензол	1	14
Москва	Диоксид азота	71	19
	Аммиак		18
Невинномысск	Фтористый водород	1	11
Новодвинск	Метилмеркаптан*	5	23
Новокузнецк	Диоксид азота	6	14
Новомосковск	Диоксид азота	1	12
Новороссийск	Диоксид азота	2	16
Норильск	Диоксид серы	3	12
	Диоксид азота	1	17
	Формальдегид	1	11
Омск	Ацетальдегид	74	61
	Этилбензол	9	48
Оренбург	Диоксид азота	2	22
Первоуральск	Оксид углерода	14	12
	Диоксид азота	1	11
Пермь	Диоксид азота	2	15
Ростов-на-Дону	Пыль	2	14
Самара	Пыль	1	14
Санкт-Петербург	Диоксид азота	8	19
	Хлористый водород	1	12
Саратов	Ксилол	11	13
	Этилбензол		10,5
Сланцы	Сероводород	4	29
Стерлитамак	Диоксид азота	41	15

	Углеводороды		14
Томск	Хлористый водород	1	12
	Фенол	3	35
	Диоксид азота	1	19
	Формальдегид	2	12
Тюмень	Оксид углерода	1	10,4
Хабаровск	Формальдегид	1	10,2
Челябинск	Этилбензол	1	15
Южно-Сахалинск	Сажа	12	48
	Оксид углерода	3	13

#### 4. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу

В промышленности Российской Федерации объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников в 1991–1998 гг. снижались из года в год (динамика представлена в таблице 3).

Анализ данных о вкладе различных отраслей в общий объем выбросов загрязняющих веществ всей промышленностью Российской Федерации за 1991–1998 гг. показывает, что:

продолжает расти доля электроэнергетики, других крупнейших источников загрязнения атмосферы – цветной и черной металлургии, а также нефтедобывающей промышленности;

отмечается довольно значительное увеличение доли угольной промышленности;

практически без изменения сохраняется доля в общем выбросе нефтеперерабатывающей промышленности;

по остальным отраслям отмечается уменьшение их вклада, особенно резкое снижение в машиностроении и промышленности строительных материалов.

Прирост выбросов отмечен по следующим веществам из числа охвачен-

ных статистическим наблюдением: свинец и его неорганические соединения, хром шестивалентный, азотная и серная кислота, сажа, углерод 4-хлористый и формальдегид.

В значительной степени это обусловлено падением объемов промышленного производства, и только в отраслях, где объемы продукции сохранились на уровне конца 80-х годов или даже увеличились – выполнением природоохранных мероприятий.

Транспортный комплекс Российской Федерации, включающий автомобильный, морской, внутренний водный, железнодорожный, авиационный и другие виды транспорта – крупнейший загрязнитель атмосферного воздуха.

Оценки выбросов загрязняющих веществ транспортными средствами в целом по России в 1998 г. приведены в таблице 4, стационарными источниками транспортного комплекса – в таблице 5.

Таблица 4. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу транспортными средствами в 1998 г., тыс. т

Вид транспорта	CO	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	NO <sub>x</sub>	C	SO <sub>2</sub>	Pb	Всего
Автомобильный	8751	1229	1580	46	215	3,10	11824
Внутренний водный	14	10	38	4	14	-	80
Морской	13	9	33	3	34	-	92
Воздушный	67	17	54	-	14	-	152
Дорожные машины	147	23	58	2	6,9	0,03	238
Железнодорожный	185	54	604	5	23	-	871
Итого	9177	1342	2367	60	307	3,13	13257

Таблица 5. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу стационарными объектами транспортного комплекса в 1998 г., тыс. т

Вид транспорта, предприятия	CO	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	NO <sub>x</sub>	C	SO <sub>2</sub>	Pb	Твердые	Всего
Автомобильный	60,1	11,0	3,4	2,8	9,3	0,03	7,2	93,8
Внутренний водный	7,1	0,3	1,3	-	3,8	-	9,0	21,5

Морской	9,3	1,5	6,1	-	10,0	-	76,4	103,3
Воздушный	6,8	2,7	4,6	-	4,5	-	4,5	23,1
Дорожное хозяйство	4,9	-	1,2	0,2	15,1	-	9,0	30,4
Железнодорожный	57,0	2,9	9,9	2,1	37,1	-	48,0	157,0
Итого	145,2	18,4	26,5	5,1	79,8	0,03	154,1	429,1

В 1998 г. выбросы загрязняющих веществ в атмосферу транспортным комплексом увеличились на 1,4% по сравнению с 1997 г. и составили в сумме 13686,8 тыс. т. При этом масса выбросов вредных веществ от стационарных источников, обусловленная главным образом сжиганием топлива, снизилась на 8,6%, а от передвижных источников увеличилась на 1,8%.

Рост выбросов вредных веществ от автомобильного транспорта происходил опережающими темпами и составил в 1998 г. 4,2%. Тенденции изменения выбросов вредных веществ транспортными средствами за период 1990–1998 гг. иллюстрирует рисунок 1.

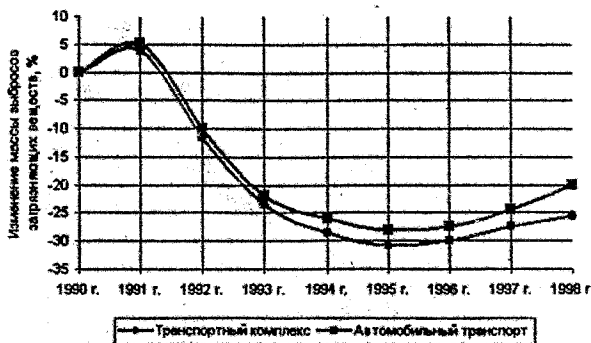


Рисунок 1. Тенденция изменения выбросов вредных веществ транспортными средствами за период 1990–1998 гг.

В России в 1997 г. в атмосферу поступило 34,2 млн. т загрязняющих веществ. Вклад специфических загрязняющих веществ в валовые выбросы от стационарных источников составил в, как и в предыдущие годы, около 1%, однако, проблема снижения таких выбросов является весьма важной, так как

в большинстве крупных городов России уровень загрязнения воздуха определяется выбросами именно этих веществ.

## 5. Краткая характеристика источников выбросов загрязняющих веществ

Вклад различных отраслей в суммарные выбросы основных загрязняющих веществ отражен в таблице 6.

Таблица 6. Вклад различных отраслей в суммарные выбросы основных загрязняющих веществ

Вещество	Отрасль	% от суммарных выбросов
SO <sub>2</sub>	цветная металлургия	44,7
	электроэнергетика	34,4
CO	черная металлургия	37,1
	топливная промышленность	15,4
	транспорт	15,4
	цветная металлургия	7,6
NO <sub>x</sub>	электроэнергетика	56,9
	транспорт	9,4
	черная металлургия	7,9
CH <sub>x</sub> (без ЛОС)	топливная промышленность	62,3
	транспорт	33,8
ЛОС	топливная промышленность	59,9
	транспорт	17,8
сажа	топливная промышленность	46,3
	черная металлургия	7,2

Основными загрязнителями металлами являются цветная металлургия, химическая и нефтехимическая промышленность.

От цветной металлургии в окружающую среду поступает 83% свинца, 96% мышьяка, 98% никеля и оксида меди. От предприятий химии и нефтехимии поступает 54% металлической ртути.

Таким образом, основная масса загрязняющих веществ поступает в ат-

мосферу от объектов всего нескольких отраслей: энергетики, металлургии, топливной промышленности и от транспортного комплекса.

### 5.1. Энергетика

Наибольшее количество твердых и газообразных выбросов поступает в воздух в результате сжигания твердых, жидких и газообразных топлив при производстве тепловой, электрической энергии и пара.

Предприятия теплоэнергетики делятся по своему назначению на 3 основные группы:

тепловые станции, предназначенные для выработки электроэнергии (ТЭС или ГРЭС);

теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), предназначенные для получения тепловой и электрической энергии;

промышленные и бытовые котельные для выработки тепловой энергии.

ТЭС (ГРЭС), как правило, оснащены мощными котлоагрегатами с производительностью пара 100-1000 т/ч. ТЭЦ характеризуются наличием большого числа котлов средней мощности с производительностью пара 50-500 т/ч. На промышленных и бытовых котельных устанавливаются паровые котлы с производительностью пара до 50 т/ч и водогрейные котлы.

На предприятиях теплоэнергетики дымовые газы отводятся в атмосферу через сравнительно небольшое число дымовых труб. На ТЭЦ и ТЭС их не больше 10, а на промышленных и бытовых котельных не более 4 шт. Высота труб на ТЭС и ГРЭС 180-400 м. Загрязняющие вещества хорошо рассеиваются и приземные концентрации редко превышают установленные нормы в 2-3 раза. В результате в зонах локального воздействия ТЭС диаметром 15-20 км выпадает только 4-6% от всего выброса  $SO_2$  и 30-60% твердых частиц. Остальная часть может включаться в региональный и трансграничный перенос и рассеиваться на расстояния в сотни километров.

Основное твердое топливо сегодня - это уголь. Его характеристики сильно меняются в зависимости от месторождения. Для эффективного сгорания твердых топлив осуществляется его дробление до пылевидного состояния в пылеприготовительных установках, организуется перемешивание дробленого топлива с поступающим в топку воздухом. Этим обеспечивается наиболее эффективное протекание физических процессов и химических реакций горения. Часть несгоревших частиц топлива может уноситься с продуктами сгорания или попадать в золу и сажу, что определяет механический недожог топлива.

Жидкие топлива распыляют на мелкие капельки для увеличения поверхности, доступной для взаимодействия с кислородом. Эти капельки легко испаряются при температуре топки и находятся в газообразном состоянии в процессе горения.

В число не нефтяных жидких топлив входят угольный деготь, сланцевое масло и многочисленные промышленные отходы, продукты газификации углей и экстракты из нефтяных песков.

Газообразное топливо легко смешивается с воздухом и не требует подготовки. Когда воздух и газ перемешаны до воспламенения, горение протекает путем гидроксирования в голубом пламени. Крекинг, или горение желтым пламенем, протекает, когда кислород добавлен к газу, после того, как оба компонента нагреты. В желтом пламени может образовываться сажа и пироуглерод, если мало кислорода или горение преждевременно прекращено.

В настоящее время преимущественно используется природный газ, в основном состоящий из метана. Другими газообразными топливами являются газовый конденсат, нефтяные газы, доменный газ, ацетилен, водород и попутные газы, состав которых зависит от типа производства.

Основными выбросами теплоэнергетики являются окислы серы, азота,



углерода, твердые частицы.

Твердые вещества (зола) образуются при горении твердых и, в значительно меньшей мере, жидких топлив, либо из негорючих (минеральных) компонентов топлива, либо из горючих, но недожженных (в этом случае образуются частицы сажи, кокса и т.д.).

Силикатная основа примесей при высоких температурах взаимодействует с другими оксидами, способствуя образованию микрочастиц разных размеров, выпадающих в виде золы (шлака), а также уносимых продуктами сгорания. Летучая зола различных видов топлива содержит разные токсичные вещества. Например, зола антрацита содержит мышьяк, зола сланцев и канско-ачинских углей содержит свободный  $\text{CaO}$ , зола экибастузских углей - свободный  $\text{SiO}_2$ .

Мазутная зола содержит незначительную часть токсичных окислов ванадия, на которые производится пересчет выбросов твердых веществ.

При сжигании часть золы остается в зоне горения, часть накапливается на греющихся поверхностях и в котле. Остальное (от 5-15% до 40-60%) выбрасывается с отходящими газами в пылеулавливающее устройство, а при его отсутствии - непосредственно в воздух.

Наиболее важные первичные источники энергии - уголь, нефть и природный газ - содержат различные количества серы. В последнем, правда, это содержание невелико вследствие предварительной его обработки перед подачей на сжигание. Содержание серы в угле и нефти колеблется в зависимости от вида и генезиса. Так, содержание его в каменном угле составляет около 1%, в буром - от 1 до 5%, но может достигать и существенно больших величин. Значительно меняется содержание серы в нефтях - от 1 и менее до 5 и более процентов. Значительная доля этой серы может содержаться в мазуте, являющемся наиболее распространенным топливом для энергетических установок.

Доля серы, попадающей в отходящие газы при сжигании угля, зависит главным образом от температуры процесса. В современных печах лишь малая часть ее остается в золах или шлаках, а 95-98% в виде оксидов уходит с отходящими газами, которые содержат до 0,2% серистого ангидрида (для больших электростанций на низкосортном угле).

Еще одним видом газообразных загрязняющих веществ в процессах горения являются оксиды азота, которые образуются из кислорода и азота воздуха при нагревании его до температуры пламени. Этот процесс начинается при 1000 °С и в соответствии с термодинамическими расчетами достигает максимума при температуре около 2700 °С.

Образование окислов азота в процессе горения обусловлено также превращениями химически связанного азота, содержащегося в топливе. Вклад того или иного способа зависит от типа используемого топлива. В котельных, работающих на угле, преобладают "топливные" окислы азота, их образование в этом случае зависит в основном от концентрации кислорода, а не от температуры.

## 5.2. Черная и цветная металлургия

Металлургические предприятия, как правило, являются основными источниками загрязнения атмосферы тех городов, где они расположены. В первую очередь это обусловлено исторически сложившейся концентрацией металлургических и связанных с ними производств в промышленных центрах. Во-вторых, на металлургических предприятиях десятилетиями не уделялось должного внимания вопросам охраны природы. И, наконец, в-третьих, сейчас износ производственных мощностей в металлургии достиг недопустимого уровня, в то время как строительство новых предприятий, и даже реконструкция действующих, связаны с огромными капитальными затратами.

Работа основных и вспомогательных цехов заводов черной металлургии

сопровождается выбросами в атмосферу большого количества пыли и газов: при производительности завода 1 млн. тонн в год за сутки он выбрасывает в среднем 350 тонн пыли, 200 тонн сернистого ангидрида, 400 тонн окиси углерода, около 50 тонн окислов азота, а также сероводород, углеводороды и другие вещества.

Предприятия черной металлургии с полным циклом производства включают агломерационное, доменное, сталеплавильное и прокатное производства, в состав таких предприятий в виде отдельных цехов могут входить коксохимическое, ферросплавное и огнеупорное производства. При этом наибольшее количество пыли выбрасывается в атмосферу доменным, агломерационным производствами, мартенами, цехами обжига известняка, коксохимическим производством; сернистого ангидрида - коксохимическим и агломерационным производствами, домнами, мартенами, конвертерами. Большое количество пыли выбрасывается в атмосферу неорганизованно, минуя системы газоочистки, от мест измельчения, сортировки, транспортировки и складирования пылящих материалов, из-за неплотностей конструкции и через рабочие проемы технологических агрегатов и т.д.

На прокатных станах в процессе производства сортового и листового металла выделяется большое количество пыли. Борьба с запыленностью здесь осуществляется в основном гидросмывом окалины непосредственно с поверхности прокатываемого металла, установкой зонтов или отсасывающих воздуховодов.

На коксохимическом производстве при получении кокса из угля образуется коксовый газ, в котором содержится пыль, водяные пары, аэрозоли, аммиак, углеводороды, фенолы, сероводород, цианиды. Основные источники загрязнения воздуха газами и пылью на коксохимическом производстве - оборудование цеха углеподготовки и загрузки угля, коксовые батареи, установки тушения кокса.

Наиболее серьезной операцией с точки зрения загрязнения воздуха газообразными веществами является тшение кокса. Сильно влияет на выбросы качество уплотнений коксовых батарей. За счет утечек, особенно в начальной стадии процесса коксования, может уходить до 10% коксового газа.

Распределение выбросов по видам производств в процентах к итогу представлено в таблице 7.

Таблица 7. Распределение выбросов по производствам черной металлургии

Производство	пыль	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
агломерационное	31.1	61	77.8	26
коксохимическое	2.0	1	7.8	9.1
доменное	17.3	0.3	3.5	3.0
сталеплавильное	19.7	0.02	5.4	6.5
прокатное	1.2	0.2	-	10.5
ремонтное	1.0	0.02	4.9	1.5
огнеупорное	18.4	0.4	0.4	5.4
энергетическое	7.4	36.7	-	36.6
прочие	1.9	0.36	0.2	1.4

Цветная металлургия включает в себя производство Al, Pb, Zn, Cu, Ni, Hg, Sn и т.д. Основными и самыми объемными производствами цветной металлургии являются алюминиевая и медная промышленность.

Алюминий производят путем рафинирования боксита до оксида алюминия (глинозема) с восстановлением оксида алюминия в электролизерах из расплава, содержащего также криолит и фторид алюминия.

Электролизеры представляют собой открытые стальные ванны, футерованные внутри угольными плитами. Угольная футеровка служит катодом. Расходуемые угольные аноды являются источниками углерода, реагирующего с кислородом, высвобождающимся при электролизе.

При электролитическом получении алюминия анодные газы содержат газообразные примеси - фтористый водород, сернистый газ, окись углерода, а также смолистые попоны и пыль, состоящую в основном из глинозема и криолита. В смолистых погонах содержится бенз[а]пирен. Концентрации перечисленных веществ зависят от типа электролизера (верхний и боковой подвод тока, вид укрытия для отсоса газов), режима его работы, вида анодов (самообжигающиеся или обожженные), способа загрузки глинозема, и др.

Основное количество меди производится по стандартной пирометаллургической схеме: плавка - конвертирование - рафинирование. На долю гидрометаллургии, не связанной с выделением пыли и газов приходится около 12-16% объема производства. Гидрометаллургия представляет собой извлечение металлов из руд и концентратов при помощи водных растворов химических реагентов с последующим выделением металлов из этих растворов.

На медеплавильных заводах выплавляется медь из первичного сырья (руд, концентратов) и вторичного (латунного и бронзового лома). При выплавке меди из первичного сырья основными источниками выбросов являются обжиговые печи (многоподовые и кипящего слоя), шахтные печи, электropечи, печи взвешенной (факельной) плавки на подогретом воздушном дутье и техническом кислороде, отражательные печи, конвертеры.

При выплавке меди из вторичного сырья основными источниками выбросов являются шахтные печи и конвертеры.

Основными источниками получения никеля являются сульфидные медно-никелевые руды и окисленные никелевые руды. Попутно при переработке сульфидных медно-никелевых руд получают медь, кобальт, золото, серебро, металлы платиновой группы, селен, теллур, серу. При переработке окисленных никелевых руд попутно получают кобальт.

Традиционная технологическая схема переработки сульфидных медно-никелевых руд достаточно сложна и включает в себя следующие операции:

окачивание рудного концентрата - сушка - агломерационный обжиг - электроплавка агломерата - конвертирование с получением медно-никелевого файнштейна. Дальнейшая переработка файнштейна включает следующие стадии: дробление - измельчение - флотационное разделение с получением медного концентрата и никелевого концентрата.

Медный концентрат направляется для получения меди. Никелевый концентрат поступает на обжиг в печах кипящего слоя. Огарок предварительно восстанавливают в трубчатых печах, и затем направляют на восстановительную электроплавку с получением никеля, из которого изготовляют аноды. Аноды поступают на электролиз с получением товарного катодного никеля.

При переработке сульфидных медно-никелевых руд и окисленных никелевых руд в атмосферу поступают следующие загрязняющие вещества: диоксид серы (сернистый ангидрид); пыль, содержащая никель, медь, кобальт и другие металлы; оксиды азота и углерода, гидроаэрозоли металлов, хлор и др.

Общим свойством пылей никелевого производства является отсутствие возгонов, вследствие чего сравнительно крупная пыль достаточно хорошо улавливается. Это объясняется тем, что никелевые руды (как сульфатные, так и окисленные) почти не содержат металлов и их соединений, обладающих высокой летучестью.

Основными видами технологических газов, очищаемых от пыли, являются газы спекательных машин, шахтных печей, электропечей для переработки руд и концентратов, конвертеров и печей кипящего слоя для обжига никелевого файнштейна и никелевого концентрата.

До 90% свинца получают по следующей технологической схеме: подготовка шихты, агломерирующий обжиг, шахтная плавка, огневое рафинирование чернового свинца. Эти стадии остаются основными и при попутной выплавке свинца на цинковых заводах.

На свинцовых заводах очищают в основном газы спекательных (агломерационных) машин, шахтных печей, купеляционных печей и печей шлаковозгонки. Агломерирующий обжиг свинцовых концентратов ведут либо с просасыванием газов через слой шихты, либо дутьем снизу вверх. В первом случае обычно газы от всех камер машины смешивают, среднее содержание сернистого газа в них невелико (0,5-1,5%), и после очистки от пыли газы выбрасывают в атмосферу. Во втором случае концентрация сернистого газа в газах, отбираемых о головной части машины, значительно выше - 5-6%, и эти газы используют для производства серной кислоты.

### **5.3. Топливная промышленность**

Топливная промышленность включает в себя:

нефтедобывающую промышленность и нефтеперерабатывающую промышленность (без сажевых заводов);

газовую промышленность (добычу и переработку природного газа и переработку попутного нефтяного газа);

угольную промышленность (добычу, обогащение угля и производство угольных брикетов), а также гораздо менее масштабные по объему сланцевую промышленность (добычу, обогащение и переработку сланцев) и торфяную промышленность (добычу и производство торфяных брикетов).

Объекты нефте- и газодобычи являются одними из крупнейших источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Значительную часть этих выбросов составляют углеводороды (примерно две трети от суммарных выбросов этих веществ от стационарных источников по стране в целом).

В наибольших количествах загрязняющие вещества поступают в природную среду при бурении и фонтанировании нефтяных и газовых скважин, при разрывах трубопроводов, при нарушении герметичности колонн в скважинах и технологического оборудования, при сбросе неочищенных промы-

словых сточных вод в поверхностные водоемы, на поля испарения и т.п.

Выбросы в атмосферу от транспортных систем в основном происходят от компрессорных станций. Рассредоточенное размещение этих объектов по сети трубопроводов и удаленность их от населенных пунктов позволяет говорить об их относительно небольшом вкладе в загрязнение атмосферного воздуха. Однако в отдельных районах страны (например, в Центрально-Черноземной экономической зоне, где сходятся многочисленные газопроводы, в Вологодской области и т.п.) этот вклад значителен. Мощными источниками опасного загрязнения воздушного бассейна продолжают оставаться в нефтяной и газовой промышленности факелы, на которых сжигают попутный газ, конденсат и т.п.

Газоперерабатывающая подотрасль характеризуется наиболее сосредоточенными источниками выбросов широкой гаммы загрязняющих веществ: окислов серы, углерода, азота, углеводородов, сероводорода, меркаптанов, сажи и др. Кроме самих газоперерабатывающих объектов, источниками выбросов являются и промышленные объекты. При этом добыча сероводородсодержащего газа представляет собой также большую потенциальную опасность.

Нефтеперерабатывающая промышленность относится к отраслям производства, оказывающим заметное влияние на общее загрязнение природной среды. Сложный химический состав нефтей и разнообразие содержащихся в них соединений определяет необходимость использования большого количества технологических процессов, методов и приемов их переработки. В результате завод становится мощным источником выбросов большого числа загрязняющих веществ.

Наиболее массовыми на нефтеперерабатывающих заводах являются выбросы углеводородов. Их основными источниками являются технологические установки (около 50%), резервуарные парки, эстакады слива и налива



нефтепродуктов (20%), ловушечно-канализационное хозяйство и водоочистные сооружения (15%). Общее количество углеводородов, поступающих в атмосферу, можно рассчитать, в частности, по безвозвратным потерям нефти и нефтепродуктов, определяемым из баланса переработки нефти за рассматриваемый промежуток времени. В среднем выбросы углеводородов в атмосферу составляют 2-4 кг на 1 т перерабатываемой нефти, в то время, как на предприятиях промышленно развитых стран этот показатель колеблется от 1,5 до 0,5 и менее кг/тонну.

Основное количество газовых выбросов при синтезе каучуков образуется при их сушке. В зависимости от вида производимого каучука в выбросах могут содержаться высокотоксичные вещества: бензол, циклогексан, дивинил и его олигомеры, хлоропрен, дихорбутан, хлор и многие другие. Очень сложен и химический состав побочных продуктов, часто обладающим не только высокой токсичностью, но и резким неприятным запахом, распространяющимся на значительные расстояния.

Основная масса выбросов пыли на шинных заводах и заводах резинотехнических изделий поступает от цехов, где готовят резиновую смесь. Состав пылей может быть очень разнообразным: как правило, на шинных заводах применяется до 30-40 ингредиентов, а в производствах резинотехнических изделий - иногда более 100.

Газы, выделяющиеся при изготовлении резиновых смесей, их при переработке на различном оборудовании, изготовлении деталей из резин и вулканизации изделий, представляют собой многокомпонентные смеси сложного состава. Так, газы, образующиеся в процессе изготовления резиновых смесей для шин на основе каучуков общего назначения, содержат 65% алкилбензолов, 8% нафталина, 8% аценафенов, 12% бензтиофенов и другие вещества. Интенсивный нагрев резиновой смеси в резиносмесителях в сочетании с активным перемешиванием приводит к выделению остаточных мо-

номеров, продуктов деструкции каучуков и других соединений.

В угольной промышленности значительные количества пылегазовых выбросов образуются при выполнении практически всех технологических процессов переработки угля. Совокупные выбросы крупных предприятий загрязняют атмосферу в диаметре нескольких десятков километров, угнетая жизнедеятельность растительного и животного мира.

#### **5.4. Химическая промышленность и промышленность по производству минеральных удобрений**

Химическая промышленность выбрасывает в атмосферу в абсолютном количестве меньше загрязняющих веществ, чем рассмотренные выше отрасли, зато это самые сложные по составу сочетания опасных ингредиентов. В химической промышленности используется очень большое число процессов, зачастую весьма отличающихся друг от друга с точки зрения загрязнения атмосферы. Это обусловлено вполне объективными обстоятельствами: для получения лишь 500 основных продуктов из 10 наиболее важных исходных веществ (бензола, бутилена, крезола, этилена, метана, нафталина, парафина, пропилена, толуола и ксилола) применяются 400 процессов. А из этих 500 веществ в конечном итоге получается около 70 тысяч видов химической продукции.

В состав предприятий химической промышленности обычно входит большой комплекс различных производств, объединенных общностью использования и переработки отдельных химических продуктов, сырья, промежуточных, побочных и конечных продуктов синтеза. Современные химические предприятия - крупные комплексы, занимающие огромную территорию. Обычно они размещаются вблизи источников сырья, энергии и пара, т.е. вблизи нефтеперерабатывающих заводов ТЭЦ, коксохимических заводов. Это целесообразно с экономической точки зрения, но усугубляет опасность, связанную с загрязнением воздушного бассейна. На химических пред-

приятных многочисленных источники выбросов, несмотря на их малую мощность, подчас играют решающую роль в загрязнении атмосферы. Как правило, из них загрязняющие вещества поступают в воздух на уровне 10-30 м, концентрации примесей в отходящих газах иногда весьма значительны. Все это способствует созданию мощного очага загрязнения в радиусе нескольких километров.

### 5.5. Целлюлозно-бумажная промышленность

Основным способом производства целлюлозы в настоящее время во всем мире является сульфатный способ. Выбросы в атмосферу при этом способе производства содержат газообразные и дисперсные вещества. Дисперсная часть состоит в основном из сульфата натрия, источником которого являются содорегенерационные котлы (СРК), солей натрия и соединений кальция - из печи обжига известняка, а также соединений натрия из резервуаров для расплава.

Газообразные выбросы сульфатного производства можно разделить на две группы: выбросы, которые происходят на многих производствах при сжигании топлива, и выбросы, специфические именно для производства сульфатной целлюлозы - дурнопахнущие соединения восстановленной серы: сероводород, метилмеркаптан, диметилсульфид, диметилдисульфид. Вещества последней группы обнаруживаются по запаху в очень малых концентрациях и при несовершенной очистке газовых выбросов могут вызывать дискомфортное состояние у людей в радиусе 50-70 км от предприятия.

Основное отличие производства целлюлозы сульфитным методом от сульфатного состоит в том, что для растворения лигнина вместо сульфидного щелочного раствора используется соль сернистой кислоты.

Варка происходит при высоком давлении и повышенной температуре. Основные выбросы сульфитного процесса - сернистый ангидрид и дисперсные продукты. В некоторых случаях при сжигании щелочной сульфитной

жидкости в регенерационных котлах в восстановительной среде могут также происходить выбросы сероводорода. В остальных случаях в ходе сульфитного процесса образования органических соединений восстановленной серы не происходит.

## 5.6. Промышленность по производству строительных материалов

Предприятия, производящие бетон, известь, гипс, стекло в радиусе до 5 км сильно загрязняют воздух не только пылью, но и оксидом углерода, фенолами, сажей, другими веществами.

Производство цемента связано со значительным пылевыделением. Цементную пыль отличает высокая дисперсность. Пылинки диаметром менее 10 мкм составляют по массе около 40% выбросов угольных мельниц и вращающихся печей и 30% - выбросов цементных мельниц, менее 20 мкм - соответственно 70 и 80%. При этом концентрация пыли в газах и воздухе, выбрасываемых в атмосферу после очистки их в пылеулавливающих установках не должна превышать, как правило, 80 мг/куб. метр. Это делает проблему пылеулавливания наиболее важным элементом природоохранной деятельности в цементной промышленности. Для улавливания твердых частиц на цементных заводах обычно применяют пылесадительные камеры, циклоны, рукавные фильтры с рукавами из натуральных или искусственных волокон и электрофильтры.

Асфальтобетонные заводы и отдельные установки по своей мощности не сравнимы с производствами цемента, извести, стекла и других крупнотоннажных продуктов. Однако расположены эти объекты, как правило, в пределах населенных пунктов и могут оказывать существенное негативное влияние на состояние воздуха жилой зоны. В условиях небольших производств большие затраты на строительство систем газоочистки неприемлемы с экономической точки зрения, поэтому радикальным способом уменьшения вредного влияния асфальтобетонных производств на атмосферный воздух

населенных пунктов является вынос этих производств за городскую черту.

## 5.7. Транспорт

Автотранспорт является одним из основных загрязнителей атмосферного воздуха. С отработавшими газами транспортных средств в воздух попадают  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_x$  (от метана до полициклических ароматических углеводородов), альдегиды, кетоны, перекисные соединения, сажа,  $\text{SO}_2$  и т.д. К веществам, вносящим основной вклад в загрязнение воздушного бассейна относятся оксид углерода, оксиды азота, углеводороды и соединения свинца (при использовании этилированных сортов бензина).

Выбросы двигателей внутреннего сгорания делятся на выбросы от карбюраторных и дизельных двигателей. Для первых характерно поджигание однородной топливно-воздушной смеси электрической искрой, а для дизельных двигателей - самопроизвольное зажигание гетерогенной смеси вследствие сильного сжатия и возникающего нагрева.

Для карбюраторных двигателей с хорошо отрегулированным режимом работы охлаждение смеси стенками камеры сгорания является одним из основных источников неполного сгорания углеводородов, которое, в свою очередь, ведет к выбросу до 1% от несгоревшего топлива. Поверхностный эффект переохлаждения на стенках камеры приводит к появлению продукта неполного сгорания топлива -  $\text{CO}$ . Кроме того, большое количество  $\text{CO}$  образуется в объеме при неполном сгорании. Оксид углерода образуется в камере сгорания в обогащенной смеси из-за недостатка кислорода и в сильно обедненной из-за неполного распространения пламени. Газофазные реакции в обычных условиях представляют собой несущественный источник углеводородных выбросов, которые обычно связываются с процессами, возникающими при трогании с места, разогреве двигателя или при режиме остановки двигателя.

Оксиды азота образуются в камере сгорания при газофазных реакциях и

их количество зависит от температуры, времени и соотношения топливно-воздух.

NO образуется в горячих продуктах реакции, когда распространение и самовоспламенение уже прошли. Обедненные топливно-воздушные смеси дают наивысшие концентрации оксидов азота, так как в них имеется некоторое количество избыточного кислорода при относительно высоких значениях температуры горения.

Из-за того, что бензин очень летуч, его испарение из системы подачи топлива представляет собой источник углеводородных выбросов. В процессе старения двигателя выбросы его увеличиваются из-за ухудшения его характеристик. При износе поршневых колец увеличивается прорыв через них. Утечки через выхлопной клапан могут стать основным источником выбросов углеводородов. Система зажигания, которая работает в неотрегулированном режиме, может тоже способствовать увеличению выброса углеводородов.

Основной характеристикой бензинов и других карбюраторных топлив являются их детонационные свойства. Детонация возникает вследствие преждевременного взрывного воспламенения в цилиндре двигателя, сопровождается стуком в двигателе и ведет к увеличению расхода топлива, снижению мощности, перегреву двигателя с быстрым выводом его из строя. Для низкооктановых бензинов применяются антидетонационные добавки. Наиболее распространенная добавка - тетраэтилсвинец  $Pb(C_2H_5)_4$  в смеси с бромистым этилом и моноклорнафталином. Она ядовита и служит причиной токсичности автомобильных выхлопов, в состав которых входит свинец в виде бромидов и хлоридов свинца. Увеличение октанового числа должно достигаться не за счет токсичных антидетонационных присадок, а применением таких методов получения и обработки бензиновых фракций, как риформинг, а также добавкой к бензинам ароматических углеводородов.

Дизельные двигатели, как и карбюраторные, выбрасывают в атмосферу

углеводороды, CO и NO<sub>x</sub>, однако, к этим веществам добавляется сажевый аэрозоль. Так как дизельные двигатели работают при больших коэффициентах избытка воздуха, содержание CO и углеводородов в отработавших газах дизелей существенно ниже.

Сажевый аэрозоль состоит из частиц углерода и тяжелых (жидких) углеводородов. Токсичность таких выбросов обусловлена адсорбированными на поверхности частиц углерода полициклических углеводородов, из которых многие канцерогенны.

Работа дизельных двигателей также сопровождается выбросом SO<sub>2</sub>, что обусловлено относительно высоким содержанием серы в топливе. Сера окисляется до SO<sub>2</sub> и сульфатов в процессе сгорания с дальнейшим образованием H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и солей металлов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Автомобильный транспорт и охрана окружающей среды. – Саратов, "Ареал", 1994

Брагинец Н.Г., Батманов А.И., Зельцер И.Г. Защита воздушного бассейна от выбросов металлургических заводов. - М, "Металлургия", 1980

Гордон Г.М., Пейсахов И.Л. Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии. - М, "Металлургия", 1977

Государственный доклад "О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1998 году". – М, 1999

Гриценко А.И., Аكوпова Г.С., Максимов В.М. Экология. Нефть и газ. - М, "Недра", 1997

Защита атмосферы от промышленных загрязнений. Под ред. С.Калверта и Т.М.Инглунда. Части I и II. - М, "Металлургия", 1988

Мазур И.И. Экология нефтегазового комплекса. - М, Недрa, 1993

Скурлатов Ю.И., Дука Г.Г., Мизити А. Введение в экологическую химию. - М, "Высшая школа", 1994

Справочник по осуществлению государственного контроля за охраной атмосферного воздуха. - М-СПб, 1994

Худолей В.В., Мизгирев И.В. Экологически опасные факторы. - СПб, 1996



# СОДЕРЖАНИЕ

1. ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ .....	3
2. ВОЗДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА БИОСФЕРУ .....	5
2.1. Основные загрязняющие вещества в атмосферном воздухе и их воздействие на живые организмы .....	5
2.2. Дioxid серы и сероводород .....	6
2.3. Оксид углерода .....	7
2.4. Оксиды азота .....	8
2.5. Углеводороды .....	8
2.6. Взвешенные частицы .....	9
2.7. Свинец .....	9
2.8. Кадмий .....	10
2.9. Ртуть .....	10
2.10. Хром (VI) .....	11
2.11. Мышьяк .....	11
2.12. Диоксины .....	12
2.13. Асбест и другие минеральные волокна .....	13
2.14. Полнициклические ароматические углеводороды .....	13
3. СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В ГОРОДАХ РОССИИ.....	13
4. ВЫБРОСЫ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ .....	19
5. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ .....	22
5.1. Энергетика .....	23
5.2. Черная и цветная металлургия .....	26
5.3. Топливная промышленность .....	31
5.4. Химическая промышленность и промышленность по производству минеральных удобрений.....	34
5.5. Целлюлозно-бумажная промышленность .....	35
5.6. Промышленность по производству строительных материалов .....	36
5.7. Транспорт .....	37

Дедов Алексей Георгиевич  
Маркин Станислав Витальевич  
Мещеряков Станислав Васильевич  
Журавлев Геннадий Иванович

**ХИМИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА В АТМОСФЕРЕ. ЗАГРЯЗНЕНИЕ  
ВОЗДУХА И ЕГО ИСТОЧНИКИ.**

Учебное пособие

Сводный тем. план 2001 г.

---

Подписано в печать 28.02.2001. Формат 60х90/16  
Объем 2,0 уч. – изд. л. Тираж 200 экз.  
Заказ № 340

---

Отдел оперативной полиграфии РГУНГ им. И.М. Губкина  
117917, Москва, ГСП – 1, Ленинский просп., 65