



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха

Алексеев Д.К.,
канд. геогр. наук, доцент
кафедра прикладной и системной экологии

LECTURE NOTES

Air pollution monitoring

Alexeev D.K., PhD, Associate Professor
Department of Applied and Systems Ecology, RSHU

Санкт—Петербург
РГГМУ
2021

Атмосфера представляет собой газообразную оболочку Земли, вращающуюся вместе с ней как единое целое. Эта оболочка слоиста. Каждый слой имеет свое название и характерные физико-химические особенности. Условно принято атмосферу делить на две большие составные части: верхнюю и нижнюю. Наибольший интерес для мониторинговых наблюдений представляет нижняя часть атмосферы, главным образом тропосфера, поскольку в ней происходят основные метеорологические явления, влияющие на загрязнение атмосферного воздуха.

В тропосфере находится большая часть космической и антропогенной пыли, водяного пара, азота, кислорода и инертных газов. Она практически прозрачна для проходящей через нее коротковолновой солнечной радиации. Вместе с тем содержащиеся в ней водяной пар, углекислота и озон (коротковолновые излучения) довольно сильно поглощают тепловое (длинноволновое) излучение нашей планеты, в результате чего тропосфера нагревается. Это нагревание является причиной вертикального перемещения потоков воздуха, конденсации водяного пара, образования облаков и выпадения осадков. Установлено, что в тропосфере температура падает на 0,5-0,6 °С на каждые 100 м высоты. Распределение температур в приземном слое атмосферы является важнейшей причиной формирования климата и его характеристик.

Таблица 1

Состав атмосферного воздуха

Газ	Содержание по объёму, %	Содержание по массе, %
Азот	78,084	75,50
Кислород	20,946	23,10
Аргон	0,932	1,286
Водяной пар	0,5-4	—
Углекислый газ	0,032	0,046
Неон	$1,818 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$
Гелий	$4,6 \times 10^{-4}$	$7,2 \times 10^{-5}$
Метан	$1,7 \times 10^{-4}$	—
Криптон	$1,14 \times 10^{-4}$	$2,9 \times 10^{-4}$
Водород	5×10^{-5}	$7,6 \times 10^{-5}$
Ксенон	$8,7 \times 10^{-6}$	—
Закись азота	5×10^{-5}	$7,7 \times 10^{-5}$

Атмосфера Земли состоит в основном из газов и различных примесей (пыль, капли воды, кристаллы льда, морские соли, продукты горения). Смесь, образуемая газами, называется воздухом (табл. 1).

Мониторинг атмосферного воздуха по организационным и методическим подходам подразделяется на ряд подсистем, среди которых основными являются:

- мониторинг источников загрязнения;
- метеорологический мониторинг;
- мониторинг загрязнения атмосферного воздуха.

Каждая из перечисленных подсистем мониторинга воздуха предполагает не только производство наблюдений, но также анализ и прогноз экологического состояния атмосферы. Цель мониторинга источников загрязнения состоит в нормирование выбросов в атмосферу загрязняющих веществ в зависимости от их физической природы и типа.

1. Основные источники загрязнения атмосферного воздуха

Существует два вида загрязнений атмосферы: естественное и искусственное, каждый обусловлен соответствующими источниками (рис. 1).

К числу естественных источников загрязнения атмосферного воздуха относят пыльные бури, массивы зеленых насаждений в период цветения, степные и лесные пожары, извержения вулканов. Примеси, выделяемые естественными источниками: пыль растительного, вулканического, космического происхождения, продукты эрозии почвы, частицы морской соли, взвешенные вещества и газы от лесных и степных пожаров;

Естественные источники обычно бывают площадными (распределенными) и действуют сравнительно кратковременно. Уровень загрязнения атмосферы естественными источниками является фоновым и мало изменяется с течением времени.

Антропогенные (техногенные) источники загрязнения атмосферного воздуха, представленные главным образом выбросами промышленных предприятий и автотранспорта, отличаются многочисленностью видов.

Масса загрязняющих веществ в год, поступающих в атмосферу из естественных и искусственных источников, представлена в таблице 2. Как свидетельствуют данные таблицы 2.2, антропогенное (искусственное) загрязнение атмосферы преобладает над естественным, при этом 37% загрязнений дает автотранспорт, 32% - промышленность и 31% - прочие источники. Степень загрязнения атмосферы зависит от количества выбросов вредных веществ и их химического состава, от высоты, на которой осуществляются выбросы,

и от климатических условий, определяющих перенос, рассеивание и превращение выбрасываемых веществ.

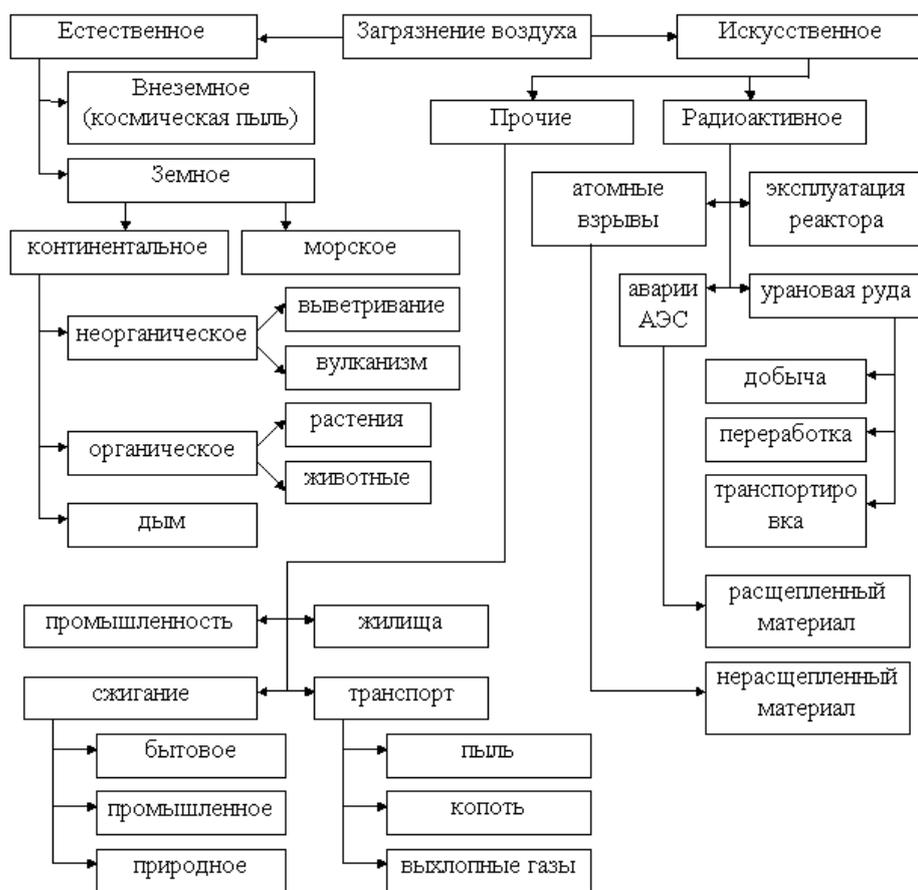


Рис. 1 Источники загрязнения атмосферы (по Г. В. Стадницкому и А. И. Родионову, 1988)

Таблица 2. Масса загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу (тонн/год, по данным ЮНЕСКО, 1996)

Вещество	Естественные поступления	Антропогенные выбросы
Оксид углерода (II) - CO	—	$3,5 \cdot 10^8$
Оксид серы (IV) - SO ₂	$1,4 \cdot 10^8$	$1,45 \cdot 10^8$
Оксиды азота (II) -NO	$1,4 \cdot 10^9$	$(1,50-2,00) \cdot 10^7$
Аэрозоль (твердые вещества)	$(7,70-22,00) \cdot 10^{10}$	$(9,60-26,00) \cdot 10^{10}$
Фреоны, полихлорвиниловые вещества	—	$2,00 \cdot 10^6$
Озон - O ₃	$2,00 \cdot 10^9$	—
Углеводороды	$1,00 \cdot 10^9$	$1,00 \cdot 10^6$
Свинец - Pb	—	$2,00 \cdot 10^5$
Ртуть - Hg	—	$5,00 \cdot 10^3$

В выбросах предприятий различных отраслей промышленности и транспорта содержится большое число различных вредных примесей. Почти из всех источников в атмосферу поступают диоксид серы (SO₂), пыль, оксид углерода (CO), оксиды азота (NO, NO₂). Много вредных веществ образуется при сжигании топлива. Только тепловые электростан-

ции являются источником почти половины (45%) общего количества сернистых соединений, поступающих в воздушный бассейн. При сжигании топлива в атмосферу выбрасываются также в большом количестве оксид углерода, оксиды азота и несгоревшие твердые вещества в виде золы и сажи. В меньших количествах при сжигании как твердого, так и жидкого топлива могут выбрасываться хлористый натрий и магний, оксиды железа, ванадий, оксиды никеля и кальция, ртуть и ряд других веществ. При сжигании газообразного топлива в основном выбрасываются оксиды азота. При нарушении режима горения, т.е. при сжигании газа в условиях недостаточного количества воздуха или при охлаждении пламени горелки, в атмосферу выбрасываются углеводороды. При этом могут выделяться и ароматические углеводороды, часть которых относится к канцерогенным веществам.

Значительное количество топлива сжигается автомобильным, железнодорожным, морским, речным и авиационным транспортом. Основными вредными примесями, содержащимися в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания, являются: оксид углерода, оксиды азота, углеводороды (в том числе канцерогенные), альдегиды и другие вещества. При работе двигателей, использующих бензин, выбрасываются также свинец, хлор, бром, иногда фосфор, при работе дизельных двигателей - значительное количество сажи. Авиационные двигатели выбрасывают в атмосферу оксид углерода, оксиды азота, альдегиды, углеводороды, оксиды серы и сажу.

Большой вклад в загрязнение атмосферы вносят предприятия черной металлургии. Выбросы предприятий этой отрасли составляют 10-15% общих выбросов промышленности в целом по стране. В выбросах предприятий черной металлургии содержатся пыль, диоксид серы, оксид углерода, оксиды азота, сероводород, фенол, сероуглерод, бенз(а)пирен и др. Наибольшее количество диоксида серы содержится в выбросах агломерационных фабрик, энергетических установок и предприятий по производству чугуна.

При производстве цветных металлов в атмосферу выбрасываются диоксид серы, оксид углерода и пыль, оксиды различных металлов (особенно, свинец, медь, никель). Производство алюминия электролизным методом сопровождается выбросами в атмосферу фтористых соединений и оксида углерода.

От предприятий химической промышленности в атмосферу поступают разнообразные вредные вещества, главным образом в виде газов. При производстве серной кислоты с отходящими газами выбрасываются в атмосферу сернистые соединения, оксиды азота, соединения мышьяка и токсичная пыль. При производстве азотной кислоты - оксиды азота, аммиак и оксид углерода, при производстве хлора - хлор и соляная кислота, при производстве суперфосфата - фтористоводородная и кремнийфтористоводородная кислота, при производстве целлюлозы и бумаги - диоксид серы, дисульфид, сероводород, сероуглерод,

хлор, формальдегид и меркаптаны, при производстве искусственного волокна - сероводород и сероуглерод.

Большое количество вредных веществ выбрасывается в атмосферу предприятиями нефтяной промышленности, в том числе оксиды серы и азота, оксид углерода, углеводороды, сероводород, меркаптаны и несгоревшие твердые частицы, содержащие бенз(а)пирен. Производство цемента связано с выбросами из печей обжига пыли и диоксида серы. Предприятия по производству белковых концентратов выбрасывают в атмосферу пыль белково-витаминных концентратов, фурфурол.

Одним из основных вопросов мониторинга атмосферы является вопрос инвентаризации источников выбросов. Тип источника определяется его геометрическими характеристиками (высота, площадь, длина), а также температурой и особенностями истечения газовой смеси. По мощности выброса источники загрязнения атмосферы подразделяются на мощные, крупные и мелкие. К мощным источникам загрязнения относятся производства типа металлургических и химических заводов, заводов строительных материалов, тепловые электростанции и др. К мелким источникам загрязнения - небольшие котельные и предприятия местной и пищевой промышленности, трубы печного отопления и т.п. Большое количество мелких источников может значительно загрязнять воздух. К точечным относятся дымовые трубы, вентиляционные шахты, крышные вентиляторы. Линейные источники имеют значительную протяженность. Это аэрационные фонари, ряды открытых окон, близко расположенные крышные вентиляторы. К ним могут быть также отнесены автотрассы. К площадным источникам относятся места складирования производственных и бытовых отходов, автостоянки, склады горюче-смазочных материалов.

Под низкими источниками понимают такие, в которых выброс осуществляется ниже 50 м, под высокими - выброс выше 50 м. Примером точечного источника является вентиляционная труба с относительно небольшой площадью сечения устья. Линейные источники можно отождествить с автотрассами или с аэрационными фонарями. Примером площадных источников могут служить источники бытового отопления с большим числом дымовых труб, рассредоточенных по площади. Существуют определенные критерии, позволяющие отделить один тип источников от другого по геометрическим показателям.

Температура истечения газовой смеси также позволяет по определенным критериям подразделить источники на горячие и холодные. Нагретыми условно называют источники, у которых температура выбрасываемой газовой смеси выше 50 °С; при более низкой температуре выбросы считаются холодными.

По характеру истечения газозвушной смеси источники подразделяются на стационарные и нестационарные. Стационарность источника связана с его типом и метеорологическими условиями. В частности, источник нельзя считать стационарным, если происходит залповый (аварийный) выброс загрязняющих веществ при слабом ветре и малой интенсивности турбулентного обмена. Следует отметить, что большинство источников является стационарными.

Необходимо подчеркнуть, что источники подразделяются на организованные и неорганизованные, в зависимости от мер, принятых для их контроля и уровня очистки выбрасываемой газозвушной смеси. Из организованного источника загрязняющие вещества поступают в атмосферу через специально сооруженные газоходы, воздухопроводы трубы. Неорганизованный источник выделения загрязняющих веществ образуется в результате нарушения герметичности оборудования, отсутствия или неудовлетворительной работы оборудования по отсосу пыли и газов, в места загрузки, выгрузки или хранения продукта. К неорганизованным источникам относят автостоянки, склады горюче-смазочных или сыпучих материалов другие площадные источники.

В зависимости от физической природы выбросов в атмосферу источники подразделяются на химические, радиоактивные и тепловые. К химическим выбросам относятся выбросы от предприятий химической промышленности, энергетики, транспорта, других видов производства. Примером радиоактивных источников могут служить, в частности, атомные станции и наземные хранилища радиоактивных отходов. К тепловым источникам выбросов можно отнести башенные испарительные градирни, пруды-охладители и брызгальные бассейны, используемые на энергетических объектах.

2. Организация наблюдений и контроля загрязнения атмосферного воздуха

Система государственного экологического мониторинга строится на наблюдениях, регламентированных самым строгим образом. Список параметров состояния окружающей среды, определяемых государственными службами, четко установлен, так же как требования к используемым средствам и методам измерений, частоте отбора проб и др.

Правила организации наблюдений за уровнем загрязнения атмосферы в городах и населенных пунктах изложены в соответствии с ГОСТ 17.2.3.01-86 "Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов". Наблюдения за уровнем загрязнения атмосферы осуществляют на постах. **Постом наблюдения** является выбранное место (точка местности), на котором размещают павильон или автомобиль, оборудованные соответствующими приборами.

Устанавливаются посты наблюдений трех категорий: стационарные, маршрутные, передвижные (подфакельные). **Стационарный пост** предназначен для обеспечения непрерывной регистрации содержания загрязняющих веществ или регулярного отбора проб воздуха для последующего анализа. Из числа стационарных постов выделяются опорные стационарные посты, которые предназначены для выявления долговременных изменений содержания основных и наиболее распространенных специфических загрязняющих веществ.

Маршрутный пост предназначен для регулярного отбора проб воздуха, когда невозможно (нецелесообразно) установить стационарный пост или необходимо более детально изучить состояние загрязнения воздуха в отдельных районах, например в новых жилых районах.

Передвижной (подфакельный) пост предназначен для отбора проб под дымовым (газовым) факелом с целью выявления зоны влияния данного источника промышленных выбросов. Стационарные посты оборудованы специальными павильонами, которые устанавливаются в заранее выбранных местах. Наблюдения на маршрутных постах проводятся с помощью передвижной лаборатории, которая оснащена необходимым оборудованием и приборами. Маршрутные посты также устанавливают в заранее выбранных точках. Одна машина за рабочий день объезжает 4-5 точек. Порядок объезда автомашиной выбранных маршрутных постов должен быть одним и тем же, чтобы обеспечить определение концентраций примесей в постоянные сроки. Наблюдения под факелом предприятия проводятся также с помощью оборудованной автомашины. Подфакельные посты представляют собой точки, расположенные на фиксированных расстояниях от источника. Они перемещаются в соответствии с направлением факела обследуемого источника выбросов.

Определение концентраций многих вредных примесей в атмосфере производится лабораторными методами. Отбор проб осуществляется путем аспирации определенного объема атмосферного воздуха через поглотительный прибор, заполненный жидким или твердым сорбентом для улавливания вещества, или через аэрозольный фильтр, задерживающий содержащиеся в воздухе частицы. Определяемая примесь из большого объема воздуха концентрируется в небольшом объеме сорбента или на фильтре. Параметры отбора проб, такие как расход воздуха и продолжительность его аспирации через поглотительный прибор, тип поглотительного прибора или фильтра, устанавливаются в зависимости от определяемого вещества. Отбор проб и измерение концентрации примеси проводятся на высоте 1,5-3,5 м от поверхности земли.

Используемые на стационарных постах средства измерения размещаются в комплектных лабораториях "Пост-1" и "Пост-2", на маршрутных и подфакельных постах - в автолаборатории "Атмосфера-II". Для отбора проб воздуха используются электроаспираторы или воздухоотборники. Оборудование "Пост-1" включает: автоматические газоанализаторы, системы для проведения отбора проб и метеорологических наблюдений, мачту для установки датчика ветра, систему электроснабжения и освещения. Лаборатория "Пост-2" предназначена для тех же целей, что и "Пост-1", и отличается от "Пост-1" главным образом наличием дополнительного оборудования, а для измерения метеорологических элементов в лаборатории используется автоматический метеокомплекс.

Регулярные наблюдения на стационарных постах проводятся по одной из четырех программ наблюдений: полной (П), неполной (НП), сокращенной (СС), суточной (С).

Полная программа наблюдений предназначена для получения информации о разовых и среднесуточных концентрациях. Наблюдения по полной программе выполняются ежедневно путем непрерывной регистрации с помощью автоматических устройств или дискретно через равные промежутки времени не менее четырех раз при обязательном отборе в 1, 7, 13, 19 ч по местному декретному времени.

По **неполной программе** наблюдения проводятся с целью получения информации о разовых концентрациях ежедневно в 7, 13, 19 ч местного декретного времени.

По **сокращенной программе** наблюдения проводятся с целью получения информации только о разовых концентрациях ежедневно в 7 и 13 ч местного декретного времени. Наблюдения по сокращенной программе допускается проводить при температуре воздуха ниже минус 45 °С и в местах, где среднесеasonные концентрации ниже 1/20 максимальной разовой ПДК или меньше нижнего предела диапазона измерений концентрации примеси используемым методом.

Допускается проводить наблюдения по скользящему графику в 7, 10, 13 ч во вторник, четверг, субботу и в 16, 19, 22 ч в понедельник, среду, пятницу. Наблюдения по скользящему графику предназначены для получения разовых концентраций.

Программа суточного отбора проб предназначена для получения информации о среднесуточной концентрации. В отличие от наблюдений по полной программе, наблюдения по этой программе проводятся путем непрерывного суточного отбора проб и не позволяют получать разовых значений концентрации. Все программы наблюдений позволяют получать концентрации среднесеasonные, среднегодовые и средние за более длительный период.

Одновременно с отбором проб воздуха определяют следующие метеорологические параметры: направление и скорость ветра, температуру воздуха, состояние погоды и под-

стилающей поверхности. Для стационарных постов допускается смещение всех сроков наблюдений на 1 ч в одну сторону. Допускается не проводить наблюдения в воскресные и праздничные дни.

Наблюдения на маршрутных постах, как и на стационарных, проводятся по полной, неполной или сокращенной программе. Для этого типа постов разрешается смещение сроков наблюдений на 1 ч в обе стороны от стандартных сроков. Сроки отбора проб воздуха при подфакельных наблюдениях должны обеспечить выявление наибольших концентраций примесей, связанных с особенностями режима выбросов и метеорологических условий рассеивания примесей, и они могут отличаться от сроков наблюдений на стационарных и маршрутных постах.

В период неблагоприятных метеорологических условий, сопровождающихся значительным возрастанием содержания примесей до высокого уровня загрязнения), проводят наблюдения через каждые 3 ч. При этом, отбирают пробы на территории наибольшей плотности населения на стационарных или маршрутных постах или под факелом основных источников загрязнения по усмотрению управления по гидрометеорологии (УГМ).

Продолжительность отбора проб воздуха для определения разовых концентраций примесей составляет 20-30 мин. Продолжительность отбора проб воздуха для определения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ при дискретных наблюдениях по полной программе составляет 20-30 мин через равные промежутки времени в сроки 1, 7, 13 и 19 ч, при непрерывном отборе проб - 24 ч.

Наравне с ручным отбором проб, описанным ранее, в нашей стране действует **Автоматизированная система наблюдений и контроля** окружающей среды (**АНКОС-АГ**) предназначена для автоматизированного сбора, обработки и передачи информации об уровне загрязнения атмосферного воздуха. Система позволяет непрерывно получать информацию о концентрации примесей и метеорологических параметрах в населенных пунктах или около крупных промышленных предприятий. Технические возможности регистрации, передачи, хранения и обработки данных о загрязнении атмосферного воздуха позволили разработать основные принципы функционирования автоматизированных систем наблюдения за состоянием атмосферного воздуха.

В состав разработанной отечественной промышленностью АНКОС-АГ входят следующие технические средства:

- павильон, конструктивно представляющий собой металлический каркас прямоугольной формы размером 2300x4700x7600 мм;
- мачтовое устройство с комплектом метеодатчиков, установленных на крыше павильона для измерения скорости и направления ветра, температуры, влажности;

- устройства отопления, вентиляции, освещения, кондиционирования и пожаротушения;
- газоанализаторы оксида углерода, диоксида серы, оксида, диоксида и суммы оксидов азота, озона, суммы углеводородов без метана;
- устройство сбора и обработки информации на базе микроЭВМ.

Обмен информацией между системой АНКОС (автоматизированной системой наблюдения и контроля) и Центром обработки информации осуществляется по коммутируемым телефонным каналам общего пользования при помощи аппаратов передачи данных (АПД) и мультимплексора передачи данных (МПД). АПД, устанавливаемые на станциях АНКОС, совместно с АПД и МПД Центра обработки информации образуют автоматическую централизованную подсистему сбора информации от систем АНКОС, размещенных по городу или региону. Системы АНКОС-АГ и Центра обеспечивают:

- систематическое измерение заданных параметров атмосферного воздуха;
- автоматический сбор информации со станций АНКОС;
- сбор информации от неавтоматизированных звеньев наблюдений (например, от стационарных и передвижных постов);
- оперативную оценку ситуации по известным значениям ПДК;
- краткосрочный прогноз уровней загрязнения контролируемых примесей;
- обработку и выдачу информации.

Средства математического обеспечения включают следующие основные алгоритмы обработки данных:

- алгоритм первичной обработки (проверка достоверности служебной информации о загрязнении, приведение информации к виду, удобному для обработки и др.);
- алгоритм статистической обработки (определение числовых, вероятностных характеристик параметров загрязнения, метеорологических параметров и др.);
- алгоритм экспресс-информации о состоянии загрязнения во всех районах города в заданный момент времени;
- алгоритм краткосрочного и долгосрочного прогнозирования загрязнения воздуха;
- алгоритм управления, определяющий временной режим работы системы, последовательность этапов функционирования, контроль работоспособности системы, приоритет программ обработки данных и др.

Время усреднения данных о концентрациях примесей составляет не менее 20 - 30 мин, что соответствует времени отбора проб в поглотительные приборы. Частота выдачи

информации автоматизированной системы может составлять от нескольких минут до нескольких часов.

Репрезентативность наблюдений за состоянием загрязнения атмосферы в городе зависит от правильности расположения поста на обследуемой территории. При выборе места для размещения поста прежде всего следует установить, какую информацию ожидают получить: уровень загрязнения воздуха, характерный для данного района города, или концентрацию примесей в конкретной точке, находящейся под влиянием выбросов отдельного промышленного предприятия, крупной автомагистрали.

В первом случае пост должен быть расположен на таком участке местности, который не подвергается воздействию отдельно стоящих источников выбросов. Благодаря значительному перемешиванию городского воздуха уровень загрязнения в районе поста будет определяться всеми источниками выбросов, расположенными на исследуемой территории. Во втором случае пост размещается в зоне максимальных концентраций примеси, связанных с выбросами рассматриваемого источника.

Каждый пост независимо от категории размещается на открытой, проветриваемой со всех сторон площадке с непылящим покрытием: на асфальте, твердом грунте, газоне. Если пост разместить на закрытом участке (вблизи высоких зданий, на узкой улице, под кронами деревьев или вблизи низкого источника выбросов), то он будет характеризовать уровень загрязнения, создаваемый в конкретном месте, и будет или занижать реальный уровень загрязнения из-за поглощения газов густой зеленью, или завышать из-за застоя воздуха и скопления вредных веществ вблизи строений.

Стационарный и маршрутный посты размещаются в местах, выбранных на основе обязательного предварительного исследования загрязнения воздушной среды города промышленными выбросами, выбросами автотранспорта, бытовыми и другими источниками и изучения метеорологических условий рассеивания примесей путем эпизодических наблюдений, расчетов полей максимальных концентраций примесей. При этом следует учитывать повторяемость направления ветра над территорией города. При определенных направлениях выбросы от многочисленных предприятий могут создавать общий факел, соизмеримый с факелом крупного источника. Если повторяемость таких направлений ветра велика, то зона наибольшего среднего уровня загрязнения будет формироваться в 2-4 км от основной группы предприятий, причем, иногда она может располагаться и на окраине города. Выбору местоположения стационарных постов должно предшествовать ознакомление с генеральным планом развития города, чтобы учесть планируемое размещение крупных источников выбросов и жилых районов. Для характеристики распределения концентрации примеси по городу посты необходимо устанавливать в первую очередь в тех

жилых районах, где возможны наибольшие средние уровни загрязнения, затем в административном центре населенного пункта и в жилых районах с различными типами застройки, а также в парках, зонах отдыха. К числу наиболее загрязненных районов относятся зоны наибольших максимальных разовых и среднесуточных концентраций, создаваемые выбросами промышленных предприятий (такие зоны находятся в 0,5-2 км от низких источников выбросов и в 2-3 км от высоких), а также магистрали интенсивного движения транспорта, поскольку влияние автомагистрали обнаруживается лишь в непосредственной близости от нее (на 50-100 м).

Число стационарных постов определяется в зависимости от численности населения в городе, площади населенного пункта, рельефа местности и степени индустриализации, рассредоточенности мест отдыха. В зависимости от численности населения устанавливается: 1 пост - до 50 тыс. жителей; 2 поста - 50-100 тыс. жителей; 2-3 поста - 100-200 тыс. жителей; 3-5 постов - 200-500 тыс. жителей; 5-10 постов - более 500 тыс. жителей; 10-20 постов (стационарных и маршрутных) - более 1 млн. жителей. Количество постов может быть увеличено в условиях сложного рельефа местности, при наличии большого количества источников загрязнения, а также при наличии на данной территории объектов, для которых чистота воздуха имеет первостепенное значение (например, уникальных парков, исторических сооружений и др.).

При подфакельных наблюдениях место отбора проб выбирают с учетом ожидаемых наибольших концентраций примесей на расстояниях 0,5; 1; 2; 3, ..., 10 км от границы санитарно-защитной зоны и конкретного источника загрязнения с подветренной стороны от него. За пределами санитарно-защитной зоны общее количество мест наблюдений устанавливается с учетом мощности источника и технической возможности проведения измерений.

Перечень веществ для измерения на стационарных, маршрутных постах и при подфакельных наблюдениях устанавливается на основе сведений о составе и характере выбросов от источников загрязнения в городе и метеорологических условий рассеивания примесей. Определяются вещества, которые выбрасываются предприятиями города, и оценивается возможность превышения ПДК этих веществ. В программу наблюдений включаются такие вещества, как пыль (взвешенные вещества), диоксид серы, диоксид и оксид азота¹, оксид углерода, которые принято называть основными, а также различные специфические вещества, выбрасываемые отдельными производствами, предприятиями, цехами.

¹ Наблюдения за оксидом азота обязательно проводят только в городах с численностью населения 250 тыс. и более.

Принцип выбора вредных веществ и составления списка приоритетных веществ основан на использовании параметра потребления воздуха (ПВ):

реального

$$ПВ_i = \frac{M_i}{q_i} \quad (1)$$

и требуемого

$$ПВ_{Ti} = \frac{M_i}{ПДК_i} \quad (2)$$

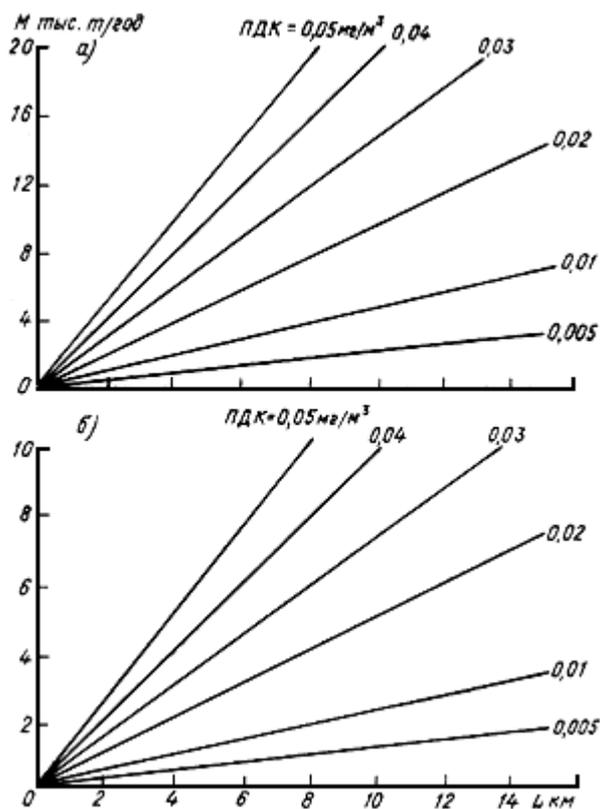
где M_i - суммарное количество выбросов i -й примеси от всех источников, расположенных на территории города; q_i - концентрация, установленная по данным расчетов или наблюдений.

Устанавливается, будет ли средняя или максимальная концентрация примеси превышать при данных выбросах соответственно среднюю суточную $ПДК_{CC}$ или максимальную разовую $ПДК_{MP}$. Если $ПВ_{Ti} > ПВ_i$, то ожидаемая концентрация примеси в воздухе может быть равна $ПДК$ или превысит ее, и, следовательно, i -я примесь должна контролироваться. Перечень веществ для организации наблюдений устанавливается сравнением $ПВ$ с $ПВ_T$ для средних ($ПВ_{CC}$) и максимальных ($ПВ_{MP}$) концентраций примесей.

Для выявления необходимости наблюдений за i -й примесью с использованием $ПВ_{CC}$ предлагается графический метод. На рис. 2.2 показано семейство прямых линий, соответствующих $q = ПДК_{CC}$ по заданным значениям M_i , потенциала загрязнения атмосферы (ПЗА) и характерного размера города L_j , определяемого условно как радиус круга площадью S_j , соответствующей площади города, т.е.

$$L_j = \sqrt{\frac{S_j}{\pi}}. \quad (2.3)$$

Если один или группа источников расположены за городской чертой на одной промплощадке, то учитывается повторяемость P_j (в долях единицы) направления ветра со стороны промплощадки. В этом случае вместо M_i берется $M'_i = M_i \cdot P_j$ (в среднем для европейской части СССР (ЕЧС) $\sum P_j$ принимается равной 0,5), а вместо L_j берется L'_j , равное 2 км, т.е. расстоянию, на котором средняя концентрация примеси имеет наибольшее значение.



а - для городов с ПЗА=2,5...3,0; б - для городов с ПЗА>3,0.

Рис. 2 Зависимость между суммарными выбросами M , характерным размером города L и средней концентрацией примеси $q = ПДК_{CC}$.

На рис. 2 для i -й примеси по значениям M_i (M'_i) L_j (L'_j) определяется местоположение точки по отношению к расчетной прямой $\bar{q}_i = ПДК_{CCi}$. Если точка попадает в область выше прямой или на прямую, то это означает, что ожидаемая средняя концентрация i -й примеси будет превышать санитарно-гигиеническую норму ($ПДК_{CC}$) или будет равна ей и, следовательно, i -ю примесь необходимо контролировать. Если точка ложится ниже прямой, то контролировать i -ю примесь не следует (если при этом ожидаемое максимальное значение концентрации не будет превышать ПДК).

При применении графического метода следует учитывать, что прямые на рис. 2 соответствуют значениям $ПДК_{CC}$ от 0,005 до 0,05 мг/м³. Если значение ПДК i -й примеси больше 0,05 (или меньше 0,005), используется прямая линия, соответствующая значению $ПДК_{CC}$, в 10 раз меньшему (или большему), чем ПДК, а значения M , нанесенные на оси координат, умножаются (или делятся) на 10. Например, для серной кислоты, имеющей

$ПДК_{CC}=0,1 \text{ мг/м}^3$, используем линию $ПДК_{CC}$ в $0,01 \text{ мг/м}^3$, а значения M на оси ординат умножаем на 10.

После отбора примесей, подлежащих контролю, определяется очередность организации контроля за специфическими примесями, выбрасываемыми разными источниками. Для этого рассчитывается параметр требуемого потребления воздуха ($ПВ_{Ti}$) по формуле:

$$ПВ_{Ti} = \frac{M_i}{ПДК_{CCi}}. \quad (4)$$

Если $ПВ_{T11} > ПВ_{T21} > ПВ_{T31} > \dots$, то первой в список контролируемых примесей войдет примесь с наибольшим значением $ПВ_{T1}$ под номером 1, второй - примесь со следующим значением $ПВ_{T1}$ под номером 2 и т.д. Таким образом составляется первый предварительный список примесей в порядке 1, 2, 3,... Если несколько примесей имеют одинаковые значения $ПВ_{T1}$, то сначала записывается примесь класса опасности 1, затем 2, 3 и 4.

С помощью рис. 2.2 можно определить целесообразность организации наблюдений за основными примесями в городах, где контроль не осуществляется, а по величине $ПВ_{T1}$ составить список городов, где необходимо организовать наблюдения за основными примесями на территории УГМ.

Перейдем к оценке ожидаемой максимальной концентрации примесей. В этом случае при выборе примесей для контроля их содержания в воздухе устанавливается соотношение ($ПВ_2$) между ожидаемой при данных выбросах максимальной разовой концентрацией i -й примеси и ее $ПДК_{MP}$. Значения $ПВ_2$ для наиболее часто встречающихся неблагоприятных условий рассеивания отдельно для холодных и горячих выбросов на соответствующих высотах и различных скоростей выхода газовой смеси из трубы, т.е. для различных $A, \Delta T, H, v$ приведены в табл.2.3. Отдельно рассматриваются выбросы с разностью значений температуры выбрасываемой газовой смеси и окружающего воздуха $\Delta T < 50 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\Delta T \geq 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Коэффициент A определяется для рассматриваемого города в соответствии с СН 369-74.

Значения H устанавливаются с учетом следующих условий. Если примесь поступает в атмосферу от многих мелких источников и автотранспорта, принимается $H \leq 20 \text{ м}$. Если примеси выбрасываются из нескольких промышленных источников разной высоты, то принимаем условно $H = 50 \text{ м}$, что примерно соответствует средней высоте труб. Если в городе основные примеси выбрасываются в основном промышленными предприятиями с высокими трубами (ТЭЦ, ГРЭС и др.), то для них принимается H , равная 100-250 м.

Таблица 3 Параметр $PB_2 = M / q$ (тыс. т·м³/(мг·год)) для разных значений A (с^{2/3}·м·°С^{1/3}/г) и v (м³/с)

A	v	H, м			v	H, м		
		20	50	100		50	100	250
Низкие и холодные выбросы ($\Delta T < 50$ °С)					Высокие и горячие выбросы ($\Delta T \geq 50$ °С)			
120	1	0,3	1,6	6,6	50	3,5	14,0	87,4
120	10	0,6	3,6	14,2	1200	10,1	40,3	252,1
160	1	0,2	1,2	5,0	50	2,6	10,5	65,6
160	10	0,4	2,7	10,7	1200	7,6	30,3	189,1
200	1	0,2	1,0	4,0	50	2,1	8,4	52,4
200	10	0,3	2,1	8,5	1200	6,0	24,2	151,3
240	1	0,1	0,8	3,3	50	1,8	7,0	43,7
240	10	0,3	1,8	7,1	1200	5,0	20,2	126,1

По значениям M_i и $ПДК_{MPi}$ определяется параметр реального потребления воздуха, который сравнивается затем с PB_2 . Если $PB_{T2i} > PB_{2i}$, то i -я примесь включается во второй предварительный список примесей, рекомендованных для контроля.

С помощью значений PB_2 , приведенных в табл.2.3, определяется второй предварительный список. Этот список одновременно является списком городов, где необходимо организовать наблюдения за основными примесями.

Окончательный приоритетный список примесей, рекомендуемых для наблюдений в городах на сети ОГСНКА, составляется из двух списков. Сначала распределяются места в списке примесей по значению PB_{T1} . Номер первый присваивается примеси, которой соответствует наибольшее значение PB_{T1} . Затем распределяются места в порядке убывания значений PB_{T2} .

Работа проводится в несколько этапов. Окончательный приоритетный список составляется по сумме мест в предварительных списках, составленных по значениям PB_{T1} и PB_{T2} . При этом примеси, для которых нет $ПДК_{MP}$, включаются в список по удвоенному

номеру места, полученного по значению $ПВ_{T1}$. Если несколько примесей имеют одинаковые номера мест в окончательном списке, то очередность этих примесей устанавливается по классу опасности веществ. В первую очередь записываются примеси классов опасности 1 и 2.

На основании установленного перечня веществ, подлежащих контролю, в каждом городе определяются вещества для организации наблюдений на постах. На опорных стационарных постах организуются наблюдения за содержанием основных загрязняющих веществ: пыли, диоксида серы, оксида углерода, оксида и диоксида азота, - и за специфическими веществами, которые характерны для промышленных выбросов многих предприятий данного города (населенного пункта).

На неопорных стационарных и маршрутных постах проводятся наблюдения за содержанием специфических примесей приоритетного списка, характерных для близлежащих источников выбросов. Наблюдения за основными примесями на этих постах проводятся по сокращенной программе или не проводятся, если среднемесячная концентрация этих веществ в течение года не превышала 0,5 среднесуточной ПДК. Одна специфическая примесь контролируется на 2-3 стационарных постах одновременно.

Кроме веществ, приоритет которых установлен по изложенной методике, в обязательный перечень контролируемых веществ в городе включаются:

- растворимые сульфаты - в городах с населением более 100 тыс. жителей;
- формальдегид и соединения свинца - в городах с населением более 500 тыс. жителей, поскольку эти примеси в большом количестве выбрасываются автомобилями;
- металлы - в городах с предприятиями черной и цветной металлургии;
- бенз(а)пирен - в городах с населением более 100 тыс. жителей и в населенных пунктах с крупными источниками выбросов;
- пестициды - в городах, расположенных вблизи крупных сельскохозяйственных территорий, на которых используются пестициды.

Выбросы перечисленных веществ трудно точно установить, и их приоритет не может быть определен по изложенной методике.

Перечень вредных веществ, подлежащих контролю, пересматривается при изменении данных инвентаризации промышленных выбросов, появлении новых источников выбросов, реконструкции предприятий, но не реже 1 раза в 3 года.

Расширение перечня контролируемых веществ осуществляется после предварительных наблюдений, направленных на ориентировочную оценку состояния загрязнения.

Такие наблюдения могут проводиться на стационарных, маршрутных постах или при эпизодических обследованиях.

При подфакельных измерениях наблюдения за основными примесями не проводятся, так как трудно выделить вклад исследуемого источника в уровень загрязнения воздуха этими примесями. Под факелом предприятия выполняются наблюдения за специфическими вредными веществами, характерными для выбросов этого предприятия. Программа подфакельных наблюдений составляется таким образом, чтобы число измерений концентрации данной примеси за год на каждом заданном расстоянии от источника было не менее 50. С помощью подфакельных наблюдений можно обеспечить контроль ряда специфических веществ, которые выбрасываются низкими источниками и влияние которых ограничивается небольшим районом. Эпизодические обследования небольших населенных пунктов по специальным программам должны проводиться таким образом, чтобы обеспечить за период обследования населенного пункта не менее 200 наблюдений за концентрацией каждой примеси.

Кроме наблюдений непосредственно за уровнем загрязнения атмосферы, используются также косвенные методы, к числу которых относится отбор проб атмосферных осадков, определение содержания вредных веществ в снеге, почве и растительности.

Результаты анализа химического состава осадков позволяют не только оценивать вклад локальных источников выбросов примесей, но и перенос этих примесей вместе с воздушными массами. Сбор атмосферных осадков и их химический анализ для получения надежных характеристик должны продолжаться не менее двух-трех лет. Сбор осадков должен осуществляться на пунктах наблюдений (на метеостанциях, гидрометеорологических постах), расположенных вне города, и на городских стационарных пунктах - в наиболее чистом и в наиболее загрязненном месте.

Накопление вредных веществ в почве и растительности происходит главным образом за счет их поступления из атмосферы. Поэтому изучение загрязнения почвы, поврежденной растительности или накопления в ней примесей может оказать существенную помощь в оценке содержания в атмосфере вредных веществ. Места взятия образцов почвы и растительности должны находиться, по возможности, вблизи точек отбора проб воздуха.

3. Организация метеорологических наблюдений.

Потенциал загрязнения атмосферы

При постоянных параметрах выбросов уровень загрязнения атмосферы существенно зависит от климатических условий: направления, условий переноса и распространения

примесей в атмосфере, интенсивности солнечной радиации, определяющей фотохимические превращения примесей и возникновение вторичных продуктов загрязнения воздуха, количества и продолжительности атмосферных осадков, приводящих к вымыванию примесей из атмосферы.

Учитывая, что метеорологические факторы определяют перенос и рассеяние вредных веществ в атмосферном воздухе, отбор проб сопровождается наблюдениями за дымовыми факелами источников выбросов и основными метеорологическими параметрами, такими как скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха, атмосферные явления, состояние погоды и подстилающей поверхности. Результаты наблюдений записываются в рабочий журнал гидрометнаблюдателя, а обработанные результаты – в книжку записи наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха и метеорологическими элементами КЗА-1, последние можно найти в книжке КМ-1.

Рассеивающая способность атмосферы зависит от вертикального распределения температуры и скорости ветра. Если температура с высотой падает, то создаются условия интенсивного турбулентного обмена. Чаще всего неустойчивое состояние атмосферы наблюдается летом в дневное время. При таких условиях у земной поверхности отмечаются большие концентрации и возможны значительные колебания их со временем. Если в приземном слое воздуха температура с высотой растет (инверсия температуры), то рассеивание примесей ослабевает. В случае мощных и длительных приземных инверсий при низких, в частности, неорганизованных выбросах концентрации примесей могут существенно возрастать.

В случае приподнятых инверсий приземные концентрации зависят от высоты расположения источника загрязнения по отношению к их нижней границе. Если источник расположен выше слоя приподнятой инверсии, то примесь к земной поверхности поступает в небольших количествах. Если источник располагается ниже слоя приподнятой инверсии, то основная часть примеси концентрируется вблизи поверхности земли.

Солнечная радиация обуславливает фотохимические реакции в атмосфере и формирование различных вторичных продуктов, обладающих часто более токсичными свойствами, чем вещества, поступающие от источников выбросов. Так, в процессе фотохимических реакций в атмосфере происходит окисление сернистого газа с образованием сульфатных аэрозолей. В результате фотохимического эффекта в ясные солнечные дни в загрязненном воздухе формируется фотохимический смог.

При туманах концентрация примесей может сильно увеличиться. С туманами связаны смоги, при которых в течение продолжительного времени удерживаются высокие концентрации вредных примесей.

На распространение примеси влияют также упорядоченные вертикальные движения, обусловленные неоднородностью подстилающей поверхности. В условиях пересеченной местности на наветренных склонах возникают восходящие, а на подветренных - нисходящие движения, над водоемами летом - нисходящие, а в прибрежных районах - восходящие движения. При нисходящих потоках приземные концентрации увеличиваются, при восходящих - уменьшаются. В некоторых формах рельефа, например в котловинах, воздух застаивается, что приводит к накоплению вредных веществ вблизи подстилающей поверхности, особенно от низких источников выбросов. В холмистой местности максимумы приземной концентрации примеси обычно больше, чем при отсутствии неровностей рельефа.

На рассеивание примесей в условиях города существенно влияют планировка улиц, их ширина, направление, высота зданий, зеленых массивов и водные объекты, образующие как бы разные формы наземных препятствий воздушному потоку и приводящие к возникновению особых метеорологических условий в городе.

Степень загрязнения воздуха существенно зависит от скорости ветра, которая способствует переносу и рассеиванию примесей, так как с усилением ветра возрастает интенсивность перемешивания воздушных слоев. Максимальные концентрации примеси обычно наблюдаются при некоторой скорости, которая называется опасной. Опасная скорость ветра зависит от параметров выброса. Для мощных источников выброса с большим перегревом дымовых газов относительно окружающего воздуха, например для тепловых электростанций, она составляет 5-7 м/с. Для источников со сравнительно малым объемом выбросов и низкой температурой газов, например, для предприятий химической промышленности, она близка к 1-2 м/с.

Наблюдения показывают, что даже при постоянных объемах и составах промышленных и транспортных выбросов в результате влияния метеорологических условий уровни загрязнения воздуха могут различаться в несколько раз. Учет этого влияния важен при подготовке документов о качестве атмосферного воздуха, разработке воздухоохраных мероприятий, планировании размещения городов и промышленных объектов, прогнозирования уровня загрязнения.

Для учета многообразия условий и факторов, влияющих на перенос и рассеивание примесей в атмосферно воздухе каждого географического района, возникла необходимость разработки комплексного показателя рассеивающей способности атмосферы. В качестве такого показателя Безугловой Э.Ю. (1980) было предложено использовать **потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА)**, полученный на основе физико-статистического ме-

тогда численной оценки сочетания метеорологических факторов, обуславливающих уровень возможного загрязнения атмосферы от источников в данном географическом районе.

Величина ПЗА показывает, во сколько раз средний уровень загрязнения атмосферы в конкретном районе (q_{cp}), определяемый реальной повторяемостью неблагоприятных для рассеивания примесей метеорологических условия, будет выше, чем в условном (q_0). При таком подходе высокий ПЗА соответствует метеоусловиям, при которых создаются наибольшие концентрации в приземном слое атмосферы с фиксированными параметрами выбросов.

$$ПЗА = \frac{q_{cp}}{q_0} = 1.47 \exp \left[\frac{0.12}{(z_2 - z_1)^2} - \frac{0.69 z_1}{z_2 - z_1} \right], \quad (6)$$

где z_1 и z_2 – аргументы интеграла вероятности $\Phi(z)$, $\Phi(z_1)=1-2P_1$, $\Phi(z_2)=1-2P_2$.

P_1 и P_2 находится из выражений: $P_1 (q > C_m/2) = P_{ин} + P_{сл} + P_u/2$, $P_2 (q > C_m) = P_{ин} + P_{сл}$,

где P_u – повторяемость опасной скорости ветра, $P_{ин}$ – инверсий температуры, $P_{сл}$ – слабого ветра (0-1 м/сек), C_m – максимальная концентрация, $P_1=0,20$ и $P_2=0,05$ для условного района (минимальные значения).

Таблица 5 Определение ПЗА по среднегодовым значениям метеорологических параметров (по Э. Ю. Безугловой, 1980 г.)

Потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА)	Приземные инверсии			Повторяемость, %		Высота слоя перемещения, км	Продолжительность тумана, ч
	Повторяемость, %	Мощность, км	Интенсивность, °С	Скорость ветра 0-1 м/сек	В том числе непрерывно подряд дней застоя воздуха		
Низкий	20-30	0,3-0,4	2-3	10-20	5-10	0,7-0,8	80-350
Умеренный	30-40	0,4-0,5	3-5	20-30	7-12	0,8-1,0	100-550
Повышенный:							
континентальный	30-45	0,3-0,6	2-6	20-40	3-18	0,7-1,0	100-600
приморский	30-45	0,3-0,7	2-6	10-30	10-25	0,4-1,1	100-600
Высокий	40-60	0,3-0,7	3-6	30-60	10-30	0,7-1,6	50-200
Очень высокий	40-60	0,3-0,9	3-10	50-70	20-45	0,8-1,6	10-600

Расчетные оценки потенциала загрязнения в исследуемом городе или районе сравниваются с данными ПЗА по условной классификации (табл. 2.5), согласно которой различаются низкий ПЗА (<2,4), умеренный (2,2-2,7), повышенный (2,7-3,0), высокий (3,0-3,3) и очень высокий (>3,3). Сравнение позволяет установить характерные особенности района, имеющего преобладающую повторяемость тех или иных метеорологических элементов, и сформулировать определенные рекомендации предупреждения загрязнения. Изучение годового и суточного хода климатических характеристик позволяет выявить периоды, когда наиболее вероятны условия накопления примесей в атмосфере и наиболее благоприятные условия их рассеивания.

4. Нормирование качества атмосферного воздуха

Нормирование качества окружающей природной среды (и атмосферы в частности) производится с целью установления предельно-допустимых норм антропогенного воздействия, как на человека, так и на природную среду.

Основные термины и определения, касающиеся показателей загрязнения атмосферы, программ наблюдения, поведения примесей в атмосферном воздухе определены «ГОСТом 17.2.1.03-84. Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения».

Согласно ГОСТу под **качеством атмосферного воздуха** следует понимать совокупность свойств атмосферы, определяющую степень воздействия физических, химических и биологических факторов на людей, растительный и животный мир, а так же на материалы, конструкции и окружающую среду в целом.

Нормативами качества воздуха определены допустимые пределы содержания вредных веществ как в **производственной** (предназначенной для размещения промышленных предприятий, опытных производств научно-исследовательских институтов и т.п.), так и в **селитебной** зоне (предназначенной для размещения жилого фонда, общественных зданий и сооружений) населенных пунктов.

Предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны (ПДКрз) — концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов или при другой продолжительности (но не более 41 часа* в неделю) на протяжении всего рабочего стажа не должна вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами исследования, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений. Рабочей

зоной следует считать пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площади, на которой находятся места постоянного или временного пребывания рабочих.

Предельно допустимая концентрация максимально разовая (ПДК_{мр}) - концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, не вызывающая при вдыхании в течение 20 минут рефлекторных (в том числе, субсенсорных) реакций в организме человека. Понятие ПДК_{мр} используется при установлении научно-технических нормативов — предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ. При этом обязательно, чтобы в результате рассеяния примесей в воздухе при неблагоприятных метеорологических условиях на границе санитарно-защитной зоны предприятия концентрация вредного вещества в любой момент времени не превышала ПДК_{мр}.

Предельно допустимая концентрация среднесуточная (ПДК_{сс}) — это концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия при неограниченно долгом (годы) вдыхании. Под прямым воздействием имеется в виду, во-первых, нанесение организму временного раздражающего (рефлекторного) действия, вызывающего кашель, ощущение запаха, головную боль и подобные явления, которые наступают при превышении пороговой концентрации веществ, и, во-вторых, воздействие вредных веществ, которые накапливаются в организме, при превышении определенной дозы могут вызвать патологические изменения. Под косвенным воздействием имеются в виду такие изменения в окружающей среде, которые, не оказывая вредного влияния на организм, ухудшают обычные условия обитания (например, увеличивает число туманных дней, поражает зеленые насаждения и т.п.)

ПДК_{сс} рассчитана на все группы населения и на неопределенно долгий период воздействия и, следовательно, является самым жестким санитарно-гигиеническим нормативом, устанавливающим концентрацию вредного вещества в воздушной среде (табл. 2.6). Именно величина ПДК_{сс} обычно выступает в качестве критерия оценки благополучия воздушной среды в селитебной зоне. Если достаточных разработок для установления ПДК нет, то для рассматриваемого вещества вводится ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ).

Таблица 6. Соотношение различных видов ПДК в воздухе для некоторых веществ

Вещество	ПДК _{сс} , мг/м ³	ПДК _{мр} , мг/м ³	ПДК _{рз} , мг/м ³
Азота оксид (II)	0,06	0,6	30
Озон	0,03	0,16	
Кобальта сульфат	0,0004	0,001	0,005

Пределно-допустимые концентрации веществ в атмосферном воздухе определяют по двум лимитирующим показателям вредности, характеризующим направленность биологического действия вещества: рефлекторное (рефл.) и резорбтивное (рез.) Под рефлекторным действием понимается реакция со стороны рецепторов верхних дыхательных путей — ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек, задержка дыхания и т. д. Указанные эффекты возникают при кратковременном воздействии вредных веществ, поэтому рефлекторное действие лежит в основе установления максимальной разовой (20-30-минутная) ПДК (ПДК_{МР}). Под резорбтивным действием понимают возможность развития общетоксических, гонадотоксических, эмбриотоксических, мутагенных, канцерогенных и других эффектов, возникновение которых зависит не только от концентрации вещества в воздухе, но и длительности вдыхания.

Некоторые красящие вещества (красители) не оказывая на уровне низких концентраций ни рефлекторного, ни резорбтивного действия, при их осаждении из воздуха могут придавать необычную окраску объектам окружающей среды, например снегу, создавая тем самым у человека ощущение опасности или санитарно-гигиенического дискомфорта. В связи с этим для красителей в качестве лимитирующего показателя устанавливается санитарно-гигиенический (сан.-гиг.), который позволяет при соблюдении ПДК избежать появления необычной окраски объектов окружающей среды.

Для определения уровня загрязнения атмосферы используются следующие характеристики загрязнения воздуха:

- средняя концентрация примеси в воздухе, мг/м³ или мкг/м³;
- максимальная разовая концентрация примеси, мг/м³ или мкг/м³;
- повторяемость разовых концентраций примеси в воздухе выше предельно допустимой концентрации (ПДК) данной примеси, %;
- наибольшая повторяемость (НП) превышения ПДК любым веществом в городе, %;
- повторяемость разовых концентраций примеси в воздухе выше 5 ПДК, %;
- число случаев концентраций примесей в воздухе, превышающих 10 ПДК;
- наибольшая измеренная в городе максимальная разовая концентрация любого вещества, деленная на ПДК — стандартный индекс (СИ);
- индекс загрязнения атмосферы (ИЗА).

При одновременном присутствии в воздух нескольких вредных веществ, что обычно имеем место, некоторые из них будут оказывать одинаковое (однонаправленное) воздействие на организм человека. Это явление носит название суммации. Для группы из N веществ, обладающих эффектами суммации, должно выполняться условие:

$$C_1/ПДК_1 + C_2/ПДК_2 + \dots + C_n/ПДК_n < 1, \quad (7)$$

где C_1, C_2, C_n – фактические концентрации веществ в атмосферном воздухе; $ПДК_1, ПДК_2, ПДК_n$ – предельно-допустимые концентрации тех же веществ.

Эффектом суммации обладают: акриловая и метакриловая кислоты; акриловая и метакриловая кислоты, бутилакрилат, бутилметакрилат; метилакрилат и метилметакрилат; аммиак и сероводород; аммиак, сероводород и формальдегид; аммиак и формальдегид; оксиды азота (II) и (IV) (NO и NO₂), мазутная зола, диоксид серы; оксид азота (IV), гексан, монооксид углерода, формальдегид; оксид азота(IV), гексен, диоксид серы, монооксид углерода; оксид азота (IV) и диоксид серы; оксид азота (IV), диоксид серы, монооксид углерода, фенол и др.

Для оценки степени суммарного загрязнения атмосферы рядом веществ используется комплексный показатель — **индекс загрязнения атмосферы (ИЗА)**, который рассчитывается по формуле:

$$ИЗА = \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_{cp.i}}{ПДК_{cci}} \right)^{c_i}, \quad (8)$$

где $q_{cp.i}$ - среднегодовая концентрация i -го вещества, $ПДК_{cci}$ - его среднесуточная предельно допустимая концентрация, C - безразмерный коэффициент, позволяющий привести степень загрязнения воздуха i -м веществом к степени загрязнения воздуха диоксидом серы (табл. 7).

Таблица 7. Константы приведения вредности для веществ разных классов опасности

Классы опасности	1	2	3	4
Константа c_i	1,7	1,3	1,0	0,9

В таблице 2.8 приводится соответствие уровней загрязнения атмосферного воздуха конкретным диапазонам индекса загрязнения атмосферного воздуха и стандартного индекса.

Таблица 8. Показатели оценки степени загрязнения атмосферы, их соотношение между собой

Степень		ИЗА	СИ
Градации	Загрязнение атмосферы		
I	Низкое	0 – 4	0 – 1
II	Повышенное	5 – 6	2 – 4
III	Высокое	7 – 13	5 – 10
IV	Очень высокое	14	10

Нормативы ПДК вредных веществ дают экологическую и санитарно-гигиеническую оценку состояния природной среды, но не указывают на источник вредного воздействия и в связи с этим не могут регулировать количество выбросов из него. Эту функцию выполняют нормативы предельно-допустимых выбросов (ПДВ).

Литература:

1. Хаустов, А. П. Экологический мониторинг : учебник для вузов / А. П. Хаустов, М. М. Редина. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 543 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-10447-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/469054>
2. Алексеев Д.К., Гальцова В.В., Дмитриев В.В. Экологический мониторинг: современное состояние, подходы и методы. Часть 1. — СПб.: РГГМУ, 2011. — 302 с.
3. Каракеян, В. И. Экологический мониторинг : учебник для вузов / В. И. Каракеян, Е. А. Севрюкова ; под общей редакцией В. И. Каракеяна. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 397 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-02491-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/451171>