

## Лекция 6

### Загрязнение атмосферы

*Атмосфера* — газообразная оболочка планеты, состоящая из смеси различных газов, водяных паров и пыли. Атмосфера имеет чётко выраженное слоистое строение.

Атмосфера – это внешняя газовая оболочка Земли, которая начинается у ее поверхности и простирается в космическое пространство приблизительно на 3000 км.

Масса современной атмосферы составляет приблизительно одну миллионную часть массы Земли. С высотой резко уменьшаются плотность и давление атмосферы, а температура изменяется неравномерно и сложно, в том числе из-за влияния на атмосферу солнечной активности и магнитных бурь. Изменение температуры в границах атмосферы на разных высотах поясняется неодинаковым поглощением солнечной энергии газами. Наиболее интенсивнее тепловые процессы происходят в тропосфере, причем атмосфера нагревается снизу, от поверхности океана и суши.

Следует отметить, что атмосфера имеет очень большое экологическое значение. Она защищает все живые организмы Земли от губительного влияния космических излучений и ударов метеоритов, регулирует сезонные температурные колебания, уравнивает и выравняет суточные. Если бы атмосферы не существовало, то колебание суточной температуры на Земле достигло бы  $\pm 200$  °С. Атмосфера влияет на характер и динамику всех экзогенных процессов, которые происходят в литосфере (физическое и химическое выветривания, деятельность ветра, природных вод, мерзлоты, ледников).

Развитие гидросферы также в значительной мере зависит от атмосферы из-за того, что водный баланс и режим поверхностных и подземных бассейнов и акваторий формировались под влиянием режима осадков и испарений. Процессы гидросферы и атмосферы, тесно связанные между собою.

Одной из главных составных частей атмосферы является водный пар, который имеет большую пространственно-временную изменчивость и сосредоточен преимущественно в тропосфере. Важной изменчивой составной атмосферы является также углекислый газ, изменчивость содержания которого связана с жизнедеятельностью растений, его растворимостью в морской воде и деятельностью человека (промышленные и транспортные выбросы). В последнее время все большую роль в атмосфере играют аэрозольные частицы пыли - продукты человеческой деятельности, которые можно обнаружить не только в тропосфере, но и на больших высотах. Физические процессы, которые происходят в тропосфере, оказывают большое влияние на климатические условия разных районов Земли.

Атмосфера имеет слоистую структуру. От поверхности Земли вверх эти слои:

- 1) тропосфера;
- 2) стратосфера;
- 3) мезосфера;
- 4) термосфера;
- 5) экзосфера.

Границы между слоями не резкие и их высота зависит от широты и времени года. Слоистая структура - результат температурных изменений на разных высотах. Погода формируется в тропосфере (нижний слой, примерно 10 км: около 6 км над полюсами и более 16 км над экватором). Верхняя граница тропосферы выше летом, чем зимой.

### **Тропосфера**

Нижняя часть атмосферы, до высоты 10-15 км, в которой сосредоточено 80% всей массы атмосферного воздуха, носит название тропосфера. Для нее характерно, что температура здесь с высотой падает в среднем на  $0.6^{\circ}\text{C}/100$  м (в отдельных случаях распределение температуры по вертикали варьирует в широких пределах). В тропосфере содержится почти весь водяной пар атмосферы и возникают почти все облака. Сильно развита здесь и турбулентность, особенно вблизи земной поверхности, а также в так называемых струйных течениях в верхней части тропосферы.

Высота, до которой простирается тропосфера, над каждым местом Земли меняется изо дня в день. Кроме того, даже в среднем она различна по разным широтам и в разное время года. В среднем тропосфера простирается над полюсами до высоты около 9 км, над умеренными широтами до 10-12 км и над экватором до 15-17 км. Средняя годовая температура воздуха у земной поверхности около  $+26^{\circ}\text{C}$  на экваторе и около  $-23^{\circ}\text{C}$  на северном полюсе. На верхней границе тропосферы над экватором средняя температура около  $-70^{\circ}\text{C}$ , над северным полюсом зимой около  $-65^{\circ}\text{C}$ , а летом около  $-45^{\circ}\text{C}$ .

Давление воздуха на верхней границе тропосферы в 5-8 раз меньше, чем у земной поверхности. Следовательно, основная масса атмосферного воздуха находится именно в тропосфере. Процессы, происходящие в тропосфере, имеют непосредственное и решающее значение для погоды и климата у земной поверхности.

В тропосфере сосредоточен весь водяной пар, именно поэтому все облака образуются в пределах тропосферы. Температура уменьшается с высотой.

## Стратосфера

Над тропосферой до высоты 50-55 км находится стратосфера, характеризующаяся тем, что температура в ней в среднем растет с высотой. Переходный слой между тропосферой и стратосферой (толщиной 1-2 км) носит название тропопаузы.

Выше были приведены данные о температуре на верхней границе тропосферы. Эти температуры характерны и для нижней стратосферы. Таким образом, температура воздуха в нижней стратосфере над экватором всегда очень низкая; притом летом много ниже, чем над полюсом.

Нижняя стратосфера более или менее изотермична. Но, начиная с высоты около 25 км, температура в стратосфере быстро растет с высотой, достигая на высоте около 50 км максимальных положительных значений (от +10 до +30°C). Вследствие возрастания температуры с высотой турбулентность в стратосфере мала.

Водяного пара в стратосфере ничтожно мало. Однако на высотах 20-25 км наблюдаются иногда в высоких широтах очень тонкие, так называемые перламутровые облака. Днем они не видны, а ночью кажутся светящимися, так как освещаются солнцем, находящимся под горизонтом. Эти облака состоят из переохлажденных водяных капелек. Стратосфера характеризуется еще тем, что преимущественно в ней содержится атмосферный озон, защищающий Землю от ультрафиолетовых излучений.

## Мезосфера

Над стратосферой лежит слой мезосферы, примерно до 80 км. Здесь температура с высотой падает до нескольких десятков градусов ниже нуля. Вследствие быстрого падения температуры с высотой в мезосфере сильно развита турбулентность. На высотах, близких к верхней границе мезосферы (75-90 км), наблюдаются еще особого рода облака, также освещаемые солнцем в ночные часы, так называемые серебристые. Наиболее вероятно, что они состоят из ледяных кристаллов.

На верхней границе мезосферы давление воздуха раз в 200 меньше, чем у земной поверхности. Таким образом, в тропосфере, стратосфере и мезосфере вместе, до высоты 80 км, заключается больше, чем 99,5% всей массы атмосферы.

Мезосфера имеет самую холодную температуру в атмосфере: от -2°C до -138 °C. Здесь же находятся самые высокие облака: в ясную погоду их можно видеть при закате. Они называются noctilucens (светящиеся ночью).

## Термосфера

Верхняя часть атмосферы, над мезосферой, характеризуется очень высокими температурами и потому носит название термосферы. В ней различаются, однако, две части: ионосфера, простирающаяся от мезосферы до высот порядка тысячи километров, и лежащая над нею внешняя часть - экзосфера, переходящая в земную корону.

Воздух в ионосфере чрезвычайно разрежен. Ионосфера, как говорит само название, характеризуется очень сильной степенью ионизации воздуха - содержание ионов здесь во много раз больше, чем в нижележащих слоях, несмотря на сильную общую разреженность воздуха. Эти ионы представляют собой в основном заряженные атомы кислорода, заряженные молекулы окиси азота и свободные электроны. Их содержание на высотах 100-400 км - порядка  $10^{15}$ - $10^6$  на  $\text{см}^3$ .

Спорадические скопления электронов с особенно большой концентрацией носят название электронных облаков.

От степени ионизации зависит электропроводность атмосферы. Поэтому в ионосфере электропроводность воздуха в общем в  $10^{12}$  раз больше, чем у земной поверхности. Радиоволны испытывают в ионосфере поглощение, преломление и отражение. Волны длиной более 20 м вообще не могут пройти сквозь ионосферу: они отражаются уже электронными слоями небольшой концентрации в нижней части ионосферы (на высотах 70- 80 км). Средние и короткие волны отражаются вышележащими ионосферными слоями.

Именно вследствие отражения от ионосферы возможна дальняя связь на коротких волнах. Так как положение и концентрация ионосферных слоев непрерывно меняются, меняются и условия поглощения, отражения и распространения радиоволн. Поэтому для надежной радиосвязи необходимо непрерывное изучение состояния ионосферы. Наблюдения над распространением радиоволн как раз являются средством для такого исследования.

В ионосфере наблюдаются полярные сияния и близкое к ним по природе свечение ночного неба - постоянная люминесценция атмосферного воздуха, а также резкие колебания магнитного поля - ионосферные магнитные бури.

Ионизация в ионосфере обязана своим существованием действию ультрафиолетовой радиации Солнца. Ее поглощение молекулами атмосферных газов приводит к возникновению заряженных атомов и свободных электронов, о чем говорилось выше. Колебания магнитного поля в ионосфере и полярные сияния зависят от колебаний солнечной активности.

Температура в ионосфере растет с высотой до очень больших значений. На высотах около 800 км она достигает  $1000^\circ\text{C}$ .

Говоря о высоких температурах ионосферы, имеют в виду то, что частицы атмосферных газов движутся там с очень большими скоростями. Однако плотность воздуха в

ионосфере так мала, что тело, находящееся в ионосфере, например летящий спутник, не будет нагреваться путем теплообмена с воздухом. Температурный режим спутника будет зависеть от непосредственного поглощения им солнечной радиации и от отдачи его собственного излучения в окружающее пространство. Термосфера находится выше мезосферы на высоте от 90 до 500 км над поверхностью Земли. Молекулы газа здесь сильно рассеяны, поглощают рентгеновское излучение (X rays) и коротковолновую часть ультрафиолетового излучения. Из-за этого температура может достигать 1000°C.

Термосфера в основном соответствует ионосфере, где ионизированный газ отражает радиоволны обратно к Земле - это явление дает возможным устанавливать радиосвязь.

### Экзосфера

Выше 800-1000 км атмосфера переходит в экзосферу и постепенно в межпланетное пространство. Скорости движения частиц газов, особенно легких, здесь очень велики. Отдельные частицы могут при этом иметь скорости, достаточные для того, чтобы преодолеть силу тяжести. Такие особенно быстрые частицы могут, двигаясь по гиперболическим траекториям, вылетать из атмосферы в мировое пространство, "ускользать", рассеиваться. Поэтому экзосферу называют еще сферой рассеяния.

Ускользанию подвергаются преимущественно атомы водорода, который является господствующим газом в наиболее высоких слоях экзосферы.

Недавно полагалось, что экзосфера, и с нею вообще земная атмосфера, кончается на высотах порядка 2000-3000 км. Но из наблюдений с помощью ракет и спутников создалось представление, что водород, ускользающий из экзосферы, образует вокруг Земли так называемую земную корону, простирающуюся более чем до 20 000 км. Конечно, плотность газа в земной короне ничтожно мала. На каждый см<sup>3</sup> здесь приходится в среднем всего коло тысячи частиц. Но в межпланетном пространстве концентрация частиц (преимущественно протонов и электронов) по крайней мере, в десять раз меньше.

С помощью спутников и геофизических ракет установлено существование в верхней части атмосферы и в околоземном космическом пространстве радиационного пояса Земли, начинающегося на высоте нескольких сотен километров и простирающегося на десятки тысяч километров от земной поверхности. Этот пояс состоит из электрически заряженных частиц – протонов и электронов, захваченных магнитным полем Земли и движущихся с очень большими скоростями. Их энергия – порядка сотен тысяч электрон-вольт. Радиационный пояс постоянно теряет частицы в земной атмосфере и пополняется потоками солнечной корпускулярной радиации.

Главными составными частями атмосферы являются азот (по массе 78,084 %), кислород (по массе 20,946 %), аргон (по массе 0,934 %) и углекислый газ (по массе 0,034 %).

### Источники и состав загрязнения атмосферного воздуха

Загрязнение атмосферы имеет естественное (природное) и искусственное (антропогенное) происхождение.

Среди естественных факторов выделяются:

- а) внеземное загрязнение воздуха космической пылью и космическим излучением;
- б) земное загрязнение атмосферы при извержении вулканов, выветривании горных пород, пыльных бурях, лесных пожарах, возникающих от ударов молний, выносе морских солей.

Условно естественное загрязнение атмосферы разделяют на континентальное и морское, а также на неорганическое и органическое. К источникам органического загрязнения относят аэро-планктон-бактерии, в том числе и болезнетворные, споры грибов, пыльцу растений и т.д.

Искусственное загрязнение атмосферы разделяют на радиоактивное, электромагнитное, шумовое, дисперсное и газообразное, а также по отраслям промышленности и видам технологических процессов. Главными и наиболее опасными источниками загрязнения атмосферы являются промышленные, транспортные и бытовые выбросы. По особенностям строения и характеру влияния на атмосферу загрязнители делятся на *механические, химические, физические, тепловые и бактериальные*.

**Таблица 1**

#### Загрязнения атмосферы и их источники

Загрязнители	Основные источники		Среднегодовая концентрация в воздухе мг/м <sup>3</sup>	Воздействие на окружающую среду и здоровье человека
	Естественные	Антропогенные		
Твёрдые частицы (пыль, зола и др.)	Вулканические извержения, пылевые бури, лесные пожары и пр.	Сжигание топлива в промышленных и бытовых установках, промышленность строительных материалов	В городах 0,04 – 0,4	Снижение солнечного освещения и видимости, увеличение облачности, туманности. Разрушение и загрязнение материков. Возможное снижение температуры Земли в результате длительного воздействия.

Продолжение таблицы 1

Загрязнители	Основные источники		Среднегодовая концентрация в воздухе мг/м <sup>3</sup>	Воздействие на окружающую среду и здоровье человека
	Естественные	Антропогенные		
Сернистый ангидрид SO <sub>2</sub>	Вулканические извержения, окисление серы и сульфатов, рассеянных в море	Сжигание топлива в промышленных и бытовых установках, промышленность строительных материалов	В городах до 1,0	Хроническое поражение растений, снижение урожайности в сельском хозяйстве, уничтожение лесов, заболевания дыхательных путей.
Оксиды азота N <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	Лесные пожары	Промышленность, автотранспорт, теплоэлектростанции	В районах с развитой промышленностью до 0,2	Поглощение солнечного света. Разрушение ряда материалов, снижение урожайности, уничтожение лесов. Оксиды азота принимают участие в образовании фотохимического смога, вызывают поражение дыхательных путей и отек легких.
Оксид углерода CO	Лесные пожары, выделение океанов окисление терпенов	Черная металлургия, промышленные энергоустановки, автотранспорт	В городах от 1,0 до 50	Образует стойкое соединение с гемоглобином, пигментом крови, который отвечает за транспортировку кислорода к тканям организма. Вдыхание окиси углерода блокирует поступление кислорода в кровь, что приводит к кислородному голоданию тканей и (в зависимости от концентрации) вызывает головную боль, головокружение, тошноту, шум в ушах, обморок, паралич дыхательных путей и смерть.
Летучие углеводороды, галогенуглероды (фреоны)	Лесные пожары, природный метан, природные терпены	Автотранспорт, сжигание отходов, испарение нефтепродуктов, холодильная техника	В районах с развитой промышленностью до 3,0	Поражение растений при концентрации выше 0,02 мг/м <sup>3</sup> , раздражающее действие на глаза.
Полициклические, ароматические углеводороды		Автотранспорт, химические заводы, нефтеперерабатывающие заводы	В районах с развитой промышленностью до 0,01	ПАУ малорастворимы в воде, они прилипают к пыли или грязи и опускаются на дно озер и рек. ПАУ известны своими канцерогенными, мутагенными и тератогенными свойствами.

Вещества, загрязняющие атмосферу, подразделяются на *первичные* — вещества, содержащиеся непосредственно в выбросах предприятий и поступающие с ними от разных источников; и *вторичные* — являются продуктами трансформации первичных или вторичного синтеза. Вторичные нередко более опасны, чем первичные вещества.

### **Последствия загрязнения атмосферы**

*Кислотные осадки* — серная и азотная кислоты, образующиеся при растворении в воде диоксидов серы и азота, и выпадающие на поверхность Земли вместе с дождём, туманом, снегом или пылью. Попадая в озёра, кислотные осадки нередко вызывают гибель рыб или всего животного населения. Они также могут вызывать повреждения листвы, гибель растений ускорять коррозию металлов и разрушение зданий.

Среди вредных веществ, содержащихся в воздухе городов, имеется большая группа, обладающая канцерогенной активностью. Это в первую очередь бенз(а)пирен и другие ароматические углеводороды, поступающие от котельных промышленных предприятий и с выхлопными газами автотранспорта. Возникновение раковых болезней у людей происходит, в частности, от постоянного суммирования небольших доз канцерогенов в течение длительного времени.

В атмосферном воздухе, в первую очередь промышленных центров и городов, в результате сложных химических реакций смеси газов, протекающих в его нижних слоях под действием солнечного света, образуются различные вещества, ядовитый туман — «смог». Фотохимический туман (смог) представляет собой многокомпонентную смесь газов и аэрозольных частиц первичного и вторичного происхождения. В состав основных компонентов смога входят озон, оксиды азота и серы, Фотохимический смог возникает в результате фотохимических реакций при определенных условиях: наличии в атмосфере высокой концентрации оксидов азота, углеводородов и других загрязнителей, интенсивной солнечной радиации и безветрия или очень слабого обмена воздуха в приземном слое при мощной и в течение не менее суток повышенной инверсии. Устойчивая безветренная погода, обычно сопровождающаяся инверсиями, необходима для создания высокой концентрации реагирующих веществ.

Такие условия создаются чаще в июне-сентябре и реже зимой. При продолжительной ясной погоде солнечная радиация вызывает расщепление молекул диоксида азота с образованием оксида азота и атомарного кислорода. Атомарный кислород с молекулярным кислородом дают озон. Оксид азота вступает в реакции с олефинами выхлопных газов, которые при этом расщепляются по двойной связи и образуют осколки молекул и избыток озона. В результате продолжающейся диссоциации новые массы диоксида азота

расщепляются и дают дополнительные количества озона. Возникает циклическая реакция, в итоге которой в атмосфере постепенно накапливается озон. Этот процесс в ночное время прекращается. В свою очередь озон вступает в реакции с олефинами. В атмосфере концентрируются различные перекиси, которые в сумме и образуют характерные для фотохимического тумана оксиданты. Такие смоги крайне опасны для дыхательной и кровеносной системы и часто бывают причиной преждевременной смерти городских жителей с ослабленным здоровьем.

С антропогенными изменениями атмосферы связано и разрушение озонового слоя, который является защитным экраном от ультрафиолетового излучения. Особенно быстро процесс разрушения озонового слоя происходит над полюсами планеты, где появились озоновые дыры. *Озоновая дыра* – разрыв озоносферы, возникший над Антарктидой и перемещающийся в населенные районы Австралии. Озоновая дыра возникла предположительно в результате антропогенных воздействий, в том числе широкого использования в промышленности и быту хлорсодержащих хладонов (фреонов), разрушающих озоновый слой. Хлорфторуглероды используются практически во всех холодильниках, кондиционерах воздуха и тепловых насосах как хлорагенты. Поскольку эти приспособления рано или поздно ломаются и выбрасываются, содержащиеся в них ХФУ обычно попадают в атмосферу. Вторая важная область их применения – производство пористых пластмасс. ХФУ подмешивают в жидкие пластмассы при повышенном давлении (они растворимы в органических веществах). Когда давление понижают, они вспенивают пластмассу, как углекислый газ вспенивает воду, и при этом улетучиваются в атмосферу. Третья основная область их применения – электронная промышленность, а именно очистка компьютерных микросхем, которая должна быть весьма тщательной. И опять же, ХФУ попадают в атмосферу. Наконец, в большинстве стран их до сих пор используют как носители в аэрозольных баллончиках, которые распыляют их в воздухе. Озоновая дыра представляет опасность для живых организмов, поскольку озоновый слой защищает поверхность Земли от чрезмерных доз ультрафиолетового излучения Солнца. Если бы все ультрафиолетовое излучение, попадающее на верхние слои атмосферы, достигало поверхности Земли, то вряд ли на ней сохранилась бы жизнь. Даже небольшая, доступная нам часть этого количества (менее 1%) вызывает загар, ожоги кожи и как следствие рак. Проникая сквозь атмосферу и поглощаясь тканями живых организмов, они разрушают молекулы белков и ДНК.

Быстрыми темпами растёт в атмосфере содержание углекислого газа и метана. Эти газы обуславливают *«парниковый эффект»*. Парниковый эффект – нагрев внутренних слоев атмосферы, обусловленный прозрачностью атмосферы для основной части излучения Солнца и поглощением атмосферой основной части теплового излучения поверхности планеты,

нагретой Солнцем, то есть тепло от поверхности Земли плохо отводится. Бытовым примером парникового эффекта может послужить нагревание изнутри автомобиля, когда он стоит на солнце с закрытыми окнами. Причина здесь в том, что солнечный свет проникает через окна и поглощается сидениями и другими предметами в салоне. При этом световая энергия переходит в тепловую, предметы нагреваются и выделяют тепло в виде инфракрасного, или теплового, излучения. В отличие от света оно не проникает сквозь стёкла наружу, то есть улавливается внутри автомобиля. За счёт этого повышается температура. В глобальном масштабе содержащийся в воздухе углекислый газ играет ту же роль, что и стекло. Световая энергия проникает сквозь атмосферу, поглощается поверхностью Земли, преобразуется в её тепловую энергию, и выделяется в виде инфракрасного излучения. Однако углекислый газ и некоторые другие газы, в отличие от других природных элементов атмосферы, его поглощают. Очевидная причина возникновения парникового эффекта – использование традиционных энергоносителей промышленностью и автомобилистами. К менее очевидным причинам можно отнести сведение лесов, переработку отходов, и добычу угля. Значительно способствуют увеличению парникового эффекта хлорфторуглеводороды, углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), окислы серы и азота. Рост окружающей температуры на 4,5-5,5 °C выше её пиков, достигающих 38 °C, может оказаться катастрофическим. Более того, такое потепление вызовет таяние горных ледников и полярных льдов, достаточное для поднятия уровня мирового океана на 1,5 метра. Это приведёт к затоплению и гораздо большей подверженности обширных прибрежных зон влиянию штормов, то есть заставит людей покинуть обжитые места.

Влияние глобального потепления на осадки и сельское хозяйство, вероятно, окажется ещё более сильным. Различная температура на полюсах и экваторе – основная движущая сила циркуляции атмосферы. Более сильное потепление на полюсах приведёт к её ослаблению. Это изменит картину циркуляции атмосферы, а значит, и распределение осадков. В некоторых случаях их количество, вероятно, увеличится, а в других уменьшится.

Современное промышленное производство загрязняет атмосферу не только газообразными и твёрдыми примесями, но и тепловыми выбросами, электромагнитными полями, ультрафиолетовыми, инфракрасными, световыми излучениями и другими физическими факторами. Наиболее распространённым видом физического воздействия на атмосферу в городах и крупных посёлках является шум, возникающий при работе транспортных средств, оборудования промышленных и бытовых предприятий и т.д. У людей, работающих и живущих в неблагоприятных акустических условиях, имеются признаки нарушения центральной нервной и сердечно-сосудистой систем. Население крупных городов

подвергается действию *вибрации*. Она возникает при движении рельсового транспорта, тяжёлых грузовых автомобилей и при работе промышленных предприятий.

### **Защита атмосферы**

*Экологизация технологических процессов.* Создание замкнутых технологических циклов, безотходных и малоотходных технологий, исключающих попадание в атмосферу вредных загрязняющих веществ. Экологизация технологических процессов предусматривает, в частности, создание непрерывных технологических процессов производства, замену местных котельных установок на централизованное тепло, предварительное очищение топлива и сырья от вредных примесей, замену угля и мазута на природный газ, применение гидрообеспыливания, перевод на электропривод компрессоров, сваебойных агрегатов и т.д., частичную рециркуляцию, т.е. повторное использование отходящих газов.

*Очистка газовых выбросов от вредных примесей.* Для очистки выбросов от аэрозолей применяют различные типы устройств в зависимости от степени запылённости воздуха, размеров твёрдых частиц и требуемого уровня очистки.

*Сухие пылеуловители* (циклоны, пылесадительные камеры) предназначены для грубой механической очистки выбросов от крупной и тяжёлой пыли.

Принцип работы — оседание частиц под действием центробежных сил и сил тяжести.

1. *Мокрые пылеуловители* (скрубберы, турбулентные газопромыватели и т.д.) требуют подачи воды и работают по принципу осаждения частиц пыли на поверхность капель под действием сил инерции и броуновского движения.

2. *Фильтры* (тканевые, зернистые) способны задерживать мелкодисперсные частицы пыли до 0,05 мкм.

3. *Электрофильтры* — наиболее совершенный способ очистки газов от взвешенных в них частиц пыли размером до 0,01 мкм при высокой эффективности очистки газов. Принцип работы основан на ионизации пылегазового потока у поверхности коронирующих электродов.

Наиболее эффективны *комбинированные методы* очистки от пыли.

1. *Поглощение примесей путём применения каталитического превращения.* Токсичные компоненты промышленных выбросов превращают в вещества безвредные или менее вредные для окружающей среды путём введения катализаторов.

2. *Промывка выбросов растворителями примеси (абсорбционный метод).* Основан на поглощении вредных газообразных примесей жидким поглотителем (абсорбентом) — водой, растворами щелочей, аммиака и др.

3. *Поглощение газообразных примесей твёрдыми телами с ультрамикropористой структурой (адсорбционный метод).* Адсорбент — активированный уголь, силикагель, цеолиты, сланцевая зола и т.д.

*Рассеивание газовых выбросов в атмосфере* используют для снижения опасных концентраций примесей до уровня, соответствующего ПДК. В приземном слое атмосферы вблизи крупных энергетических установок (ТЭЦ, ТЭС, ГРЭС) и других предприятий концентрация вредных веществ в отходящих газах может превышать предельно допустимые нормы, несмотря на все применяемые меры по очистке газов и экологизацию технологических процессов. Рассеивание пылегазовых выбросов осуществляется с помощью высоких дымовых труб. Чем выше труба, тем больше её рассеивающий эффект.

*Устройство санитарно-защитных зон, архитектурно-планировочные решения и др.* Санитарно-защитная зона — это полоса, отделяющая источники промышленного загрязнения от жилых или общественных зданий для защиты населения от влияния вредных факторов производства. Архитектурно-планировочные мероприятия включают правильное взаимное размещение источников выброса и населённых мест с учётом направления ветров, выбор под застройку промышленного предприятия ровного возвышенного места, хорошо продуваемого ветрами, сооружение автомобильных дорог в обход населённых пунктов и др.

### **Нормирование и контроль вредных веществ в атмосфере**

Критерием оценки влияния выбросов предприятий на окружающую среду является сравнение практических концентраций примесей с предельно допустимыми (ПДК).

Для санитарной оценки воздушной среды используется несколько видов предельно допустимых концентраций вредных веществ, в том числе ПДК для рабочей зоны (р.з.), максимальная разовая (м.р.) и среднесуточная (с.с) ПДК, которые установлены на основе рефлекторных реакций организма человека на присутствие в воздухе токсикантов.

ПДК<sub>р.з.</sub> – предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны, мг/м<sup>3</sup>. Эта концентрация не должна вызывать у работающих при ежедневном вдыхании в течении 8 ч. за все время рабочего стажа каких-либо заболеваний или отклонений от нормы в состоянии здоровья, которые могли бы быть обнаружены современными методами исследования непосредственно во время работы или в отдаленные сроки. При этом рабочей зоной считается пространство высотой до 2м над уровнем пола или площадки, на которой расположены места постоянного или временного пребывания работающих.

ПДК<sub>м.р.</sub> – максимальная разовая концентрация вредного вещества в воздухе, мг/м<sup>3</sup>, которая не должна вызывать рефлекторных реакций в организме человека.

ПДКс.с. – среднесуточная предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, мг/м<sup>3</sup>. Эта концентрация вредного вещества не должна оказывать прямого или косвенного, вредного воздействия на организм человека в условиях неопределенно долгого круглосуточного дыхания.

По каждому конкретному веществу ПДКс.с.<ПДКр.з., так как в населенных местах есть беременные, дети, пожилые люди, больные.

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе устанавливаются, как правило, экспериментально, с использованием подопытных животных. Установление ПДК каждого отдельного вещества требует продолжительных экспериментальных исследований, тогда как новые химические соединения и их комбинации получают, синтезируют и внедряют в производство значительно быстрее. Для устранения этого разрыва во времени используют расчетные методы определения ПДК, которые позволяют прогнозировать токсическое действие химических соединений, исходя из их физико-химических характеристик и результатов простейших токсикологических исследований.

Для расчета ПДК вредных веществ в воздухе производственных помещений рекомендованы формулы, выведенные на основании регрессионного анализа с использованием показателей их токсичности и некоторых физико-химических констант этих веществ.

Для обеспечения охраны воздушной среды установлена еще одна нормативная величина, характеризующая объем вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу отдельными источниками загрязнения – предельно допустимый выброс (ПДВ). ПДВ – количество вредных веществ, выбрасываемых в единицу времени (г/с), которое в сумме с выбросами из других источников загрязнения не создает приземной концентрации примеси, превышающей значение ПДК.

ПДВ рассчитывают по методам, разработанным Госкомгидрометом и стандартизованным ГОСТ 17.2.3.02-78. При его установлении для каждого предприятия принимается во внимание перспектива развития промышленного производства в этом районе, расположение уже действующих предприятий и жилой застройки, географические и климатические условия местности, расположение санитарно-защитных и рекреационных зон.

Наряду с ПДК для контроля над промышленными выбросами пользуются рядом дополнительных характеристик, в том числе ДОК (допустимое остаточное количество), ОБУВ (ориентировочный безопасный уровень воздействия), ОДК (ориентировочная допустимая концентрация).

Качественный анализ газовых смесей производится с помощью органолептического, индикационного метода или с использованием пористых поглотителей.

Органолептический метод основан на определении примесей, содержащихся в атмосфере или газовых выбросах, по цвету или запаху. Однако индикацию газов органолептическим методом нельзя считать достоверной, т.к. возможная ошибка зависит не только от субъективных особенностей человека, но и оттого, что специфический цвет или запах могут маскироваться окраской и запахом других примесей.

Индикационный метод основан на изменении окраски индикаторной бумаги, пропитанной соответствующими реактивами, в присутствии того или иного компонента газовой смеси.

Индикация с помощью жидких или пористых поглотителей заключается в прокачивании воздуха через жидкость, в которой растворен соответствующий реагент, или сквозь пропитанный реагентом материал. О наличии в воздухе или отходящих газах определяемой примеси судят по изменению окраски раствора или реагента, пропитывающего пористый материал.

Эффективность поглощения компонентов газовой смеси в значительной степени зависит от используемого поглотителя. Самой высокой поглощающей способностью для отбора проб газовых смесей обладают твердые сорбенты – активированный уголь, цеолиты, силикагель. Обычно их помещают в U-образные трубки с боковыми отводами. В качестве жидких поглотителей применяют растворы кислот, солей и оснований и некоторых веществ, сложного состава.

Для анализа газов используют широкий ассортимент приборов, называемых газоанализаторами. Выбор метода газового анализа и газоанализатора определенного типа зависит от особенностей анализируемого компонента, которые отличают его от других компонентов смеси. Используют газоанализаторы механические, тепловые, магнитные, оптические, хроматографические и т.д.

Действие механических газоанализаторов основаны на измерении молекулярно-механических параметров анализируемой газовой смеси и их изменении при химическом или физико-химическом извлечении из смеси определенного компонента.

Анализ газовых смесей на магнитных газоанализаторах основан на различиях в парамагнитных свойствах газов. Большую группу газоанализаторов составляют приборы, в которых используются зависимость изменения оптических свойств газовой смеси (показатель преломления, оптическая плотность, секторное поглощение или излучение и т.д.) от содержания определенного компонента.

В современной промышленности для анализа отходящих газов нашли применение газоанализаторы, принцип работы которых основан на поглощении лучистой энергии. Это инфракрасные анализаторы, реагирующие на индивидуальный характер спектров поглощения

инфракрасного излучения отдельных газов. Используются так же приборы, в которых концентрацию компонентов определяют по поглощению колебаний в ультрафиолетовой и видимых областях.

Работа фотометрических и фотоколориметрических газоанализаторов основывается на образовании специфически окрашенных продуктов при реакциях определенных газообразных компонентов с реагентами, а интенсивность окраски продуктов служит мерой концентрации реагирующих компонентов.

Принцип действия хроматографических газоанализаторов основан на различной способности отдельных газовых компонентов сорбироваться твердыми или жидкими сорбентами.