

- **Лекция 2. Состояние атмосферы городских территорий**

Структура лекции:

- Основной состав воздуха современной атмосферы
- Источники загрязнения воздуха городов.
- Состояние химического загрязнения воздуха городов
- Химические превращения загрязняющих веществ в атмосфере
- Понятия климата и погоды в условиях города

Многие проблемные вопросы экологии города, прежде всего его населения, связаны с атмосферой. Среди них состав атмосферы, атмосферная циркуляция, формирование климатических условий города, антропогенные и естественные составляющие теплового баланса, мезо- и микроклиматические особенности городской среды, метеорологические факторы, влияющие на процессы загрязнения и рассеивания. Важное значение приобретает химическое загрязнение атмосферы и меры по его снижению: нормирование качества атмосферного воздуха, мониторинг за загрязнением воздуха, нормирование выбросов, градостроительные, организационные и технологические способы борьбы с загрязнением воздуха тропосферы. Современная атмосфера является результатом эволюции живого вещества биосферы и геофизических процессов, инициируемых солнечной энергией. Ее принципиальное отличие от первичной атмосферы (50 % CH_4 , 35 % CO_2 , 11 % N_2 , остальное пары воды, NH_3 , H_2S и другие газы) состоит в наличии кислорода образовавшегося и возобновляемого в результате фотосинтеза. В воздухе имеются газы относительно постоянного состава, а также огромное количество так называемых переменных (следовых) газов, содержание которых может сильно меняться в пространстве и времени (табл.1).

Таблица 1

Постоянные газы		Переменные газы	
Азот (N ₂)	78,08	Водяной пар (H ₂ O)	0-4
Кислород (O ₂)	20,95	Углерода диоксид (CO ₂)	0,0360
Аргон (Ar)	0,93	Углерода оксид (CO)	0-0,01
Неон (Ne)	0,0018	Серы диоксид (SO ₂)	0-0,001
Гелий (He)	0,00052	Азота оксид (NO)	(M),001
Метан (CH ₄)	0,00015	Азота диоксид (NO ₂)	0-0,0001
Криптон (Kr)	0,00011	Ксенон (Xe)	следы
Водород (H)	0,00005		

Половина всей массы атмосферы сосредоточена в нижних 5 км, а три четверти — в нижних 10 км.

Как видно из табл.1 более чем на 99 % сухая атмосфера состоит из смеси азота и кислорода, всем остальным компонентам принадлежит менее 1 %. Соотношение постоянных газов остается практически одинаковым до высоты 90 км, что поддерживается непрерывным балансом между поступлением газов и их выведением из атмосферы (за счет геохимических и биологических процессов в условиях вертикального и горизонтального перемешивания воздуха). Это перемешивание происходит в процессе общей циркуляции атмосферы, основной движущей силой которой являются географическая неравномерность распределения приходящей на поверхность Земли солнечной радиации и различия в физических свойствах подстилающей поверхности.

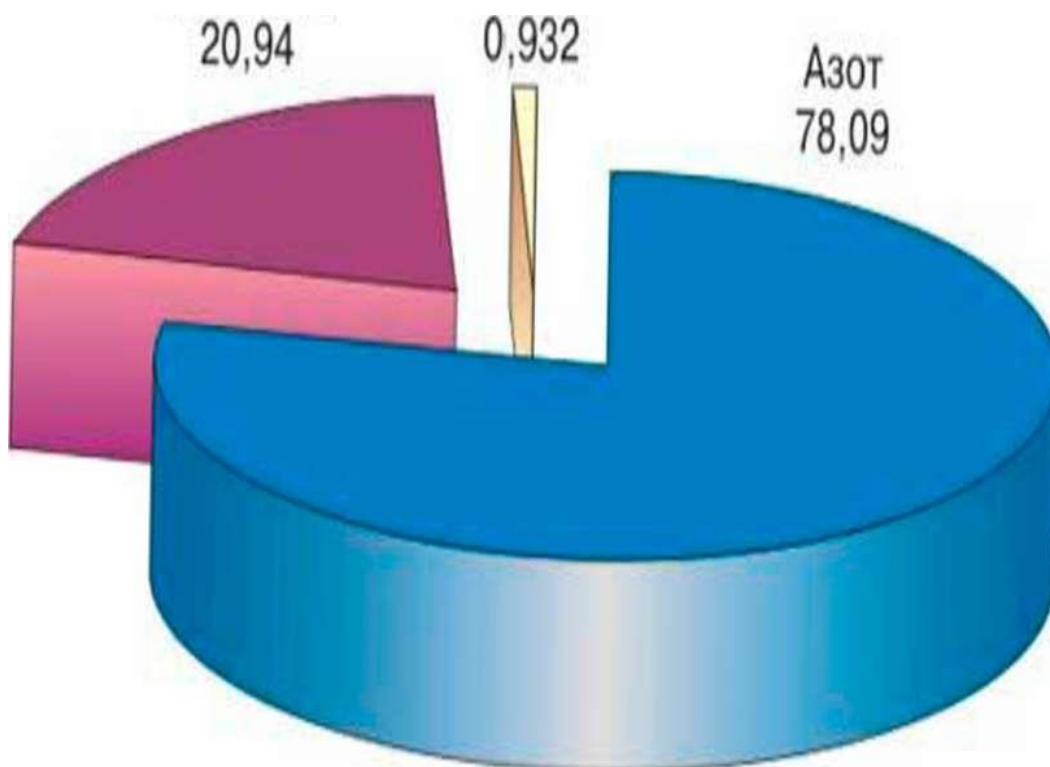


Рисунок 1. Основной состав воздуха современной атмосферы (азот, кислород, остальные газы)

Эти факторы приводят к неравномерному нагреву приземного слоя воздуха, перепадам давления между различными участками земной поверхности и, как следствие, возникновению глобальной атмосферной циркуляции, стремящейся уравновесить эти неравномерности. На глобальную циркуляцию накладываются вихри синоптического масштаба, определяющие погодные условия на различных участках земной поверхности. Они называются *циклонами*, ложбинами (области низкого давления), и *антициклонами*, гребнями (области высокого давления). В синоптических процессах происходит глобальный обмен веществом и энергией между сушей и океаном, между низкими и высокими широтами, перемешивание нижней части атмосферы — тропосферы, верхней границей которой служит тропопауза. Таким образом, тропосфера является открытой динамической системой, находящейся в процессе непрерывного взаимного обмена веществом, энергией и информацией с верхними слоями атмосферы, космическим пространством, биотой, сушей и океаном.

Таблица 2.

Характеристики циклонов и антициклонов

ХАРАКТЕРИСТИКА ЦИКЛОНА И АНТИЦИКЛОНА			
	давление в центре	НАПРАВЛЕНИЕ ВЕТРА	ПО ГОДА

		северное полушарие	южное полушарие	
ЦИКЛОН	низкое	по часовой стрелке	против часовой стрелки	дождли вая
АНТИЦИКЛОН	высокое	против часовой стрелки	по часовой стрелке	солнечн ая

Тропосфера

Высота тропосферы варьируется от времени года и географической широты и достигает максимума на экваторе - примерно 15 км.

Здесь сосредоточено около 80% общей атмосферной массы.

С увеличением высоты на 1000 м температура понижается приблизительно на 6 градусов.

Именно в этом слое происходят изменения погоды

Приземный слой тропосферы в наибольшей степени испытывает антропогенное воздействие, основным видом которого является химическое и тепловое загрязнение воздуха, а также изменение параметра шероховатости земной поверхности за счет аэродинамического сопротивления зданий и сооружений городов. Антропогенные факторы воздействия на атмосферу по своим размерам пока не сопоставимы с глобальными атмосферными процессами, однако могут оказаться чрезвычайно интенсивными в более мелком масштабе (город, территория).

Источники химического загрязнения воздуха городов

Существует два основных источника загрязнения атмосферного воздуха, в т. ч. городов: естественный и антропогенный,

К естественным источникам относятся: извержение вулканов, пыльные бури, лесные и степные пожары, туманы — частицы морской воды, тонкий песок пустынь и пыль от эрозии почвы, различные продукты растительного, животного и микробиологического происхождения. Естественные источники

загрязнений носят либо распределенный, либо кратковременный стихийный характер и мало влияют на общий уровень загрязнения.

К основным *антропогенным* источникам загрязнения атмосферы относятся предприятия топливно-энергетического комплекса (ТЭК), транспорт, различные машиностроительные предприятия.

По *месту образования* загрязнители атмосферного воздуха населенных мест России могут быть подразделены на местные (городские предприятия), расположенные на территории страны, и внешние источники, обеспечивающие так называемое трансграничное загрязнение территории.



Рисунок 2. Природные источники загрязнения воздуха



Рисунок 3. антропогенные источники загрязнения воздуха.



Рисунок 4. Источники загрязнения воздуха

Доля последнего в общем загрязнении территории страны очень велика. Так, с западными воздушными потоками на территорию России приносится ежегодно до 3—10 млн. т диоксида серы, от нас же за границу переносится до 1,5-2 млн. т SO_2 . Ежегодный ущерб от закисления почв только северо-западной части территории страны достигает (в ценах 1991 г.) 100 млн руб. (С. В. Яковлев, А. К. Стрелков, А. А. Мазо, 1998 г.).

Вещества, загрязняющие атмосферу, могут быть твердыми, жидкими и газообразными и оказывать вредное воздействие непосредственно, после химических превращений в атмосфере либо совместно с другими веществами, вызывая в ряде случаев синергетический эффект (рис.4).

Промышленная пыль образуется в результате механической обработки различных материалов (дробление, размол, взрывание, заполнение,

разравнивание), тепловых процессов (сжигание, прокаливание, сушка, плавление), транспортировки сыпучих материалов (погрузка, просеивание, классификация).

Жидкие загрязняющие вещества (ЗВ) образуются при конденсации паров, распылении и разливе жидкостей, в результате химических реакций.

Газообразные ЗВ формируются в результате химических реакций, например, окисления, обжига руд и нерудного минерального сырья (цветная металлургия, производство цемента). При сжигании топлива образуются огромные количества газообразных соединений — оксиды серы, азота, углерода, тяжелых и радиоактивных металлов. Из всей массы ЗВ, поступающих в атмосферу от антропогенных источников, около 90 % составляют газообразные, 10 % — твердые и жидкие вещества.

Главными источниками загрязнения атмосферы являются: 1) тепловые электростанции и теплоцентрали, сжигающие органическое топливо; 2) транспорт; 3) черная и цветная металлургия; 4) машиностроение; 5) химическое производство; 6) добыча и переработка минерального сырья; 7) открытые источники (сельскохозяйственные пашни, строительство).

Основным (по массе) источником поступления ЗВ в атмосферу является автотранспорт. На территории города находится около 2,5 тыс. автотранспортных и промышленных предприятий, имеющих собственные автохозяйства, а также автотранспорт частной принадлежности. Автопарк города по состоянию на 01.01.2001 г., по данным ГИБДД, составлял 2 млн. 348 тыс. единиц грузового и легкового автотранспорта, потребляющих в год около 4 млн. тонн моторного топлива, которое реализуется на 674 АЗС, а автомобильный парк всего региона — это более 3,3 млн. единиц автотранспорта, выбрасывающих в атмосферу за год более 2,5 млн. тонн ЗВ.

Таблица 2

Соотношение валового объема выбросов в атмосферу и выбросов от передвижных источников загрязнения за период с 1994 по 2006 годы в Санкт-Петербурге.

год	общие выбросы (сотни тыс. т)	выбросы от стационар ных источнико в	выбросы от автотрансп орта	доля выбросов от автотранспорта (%)
1994	199.3	104	95.3	48%
1995	272.8	77.9	194.9	71%
1996	306.4	70.8	203.7	66%
1997	279.2	68.1	238.3	85%
1998	279.2	66.9	212.3	76%
1999	245	63.6	181.4	74%
2000	244.6	59.2	185.4	76%
2001	231	57.8	173.2	75%
2002	250.8	54.2	196.6	78%
2003	283.9	60.2	223.7	79%
2004	270.4	57.0	213.4	79%
2005	275.6	52.5	223.1	81%
2006	284.6	52.8	231.8	81%

Состояние химического загрязнения воздуха городов

Загрязнение ОС является острой проблемой промышленно насыщенных городов России, что, в свою очередь, сопровождается большим социальным и экономическим ущербом.

Перечень городов, в которых наблюдается недопустимо высокий уровень загрязненности воздуха, велик. Так, в 1995 г. он составил 45 наименований, причем в 23 городах высокий Уровень загрязненности отмечен в течение предшествующих 5 лет. В их число вошли Братск., Екатеринбург, Кемерово, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Новосибирск, Ростов-на-Дону, Тольятти, Хабаровск и др.

Список приоритетных загрязнителей ежегодно публикуется в Государственном докладе «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации». По данным такого доклада, за последние 10 лет (1990—1999 гг.) средние за год концентрации таких приоритетных загрязняющих атмосферный воздух веществ, как взвешенные вещества, диоксид серы, аммиак, фенол, фтористый водород, сажа и сероуглерод снизились на 5—49 % (табл. 3), что объясняется уменьшением промышленных выбросов в результате спада производства. В то же время концентрации оксида углерода и диоксида азота возросли на 13—15 %, что обусловлено непрерывным ростом парка автомобилей и неудовлетворительным техническим состоянием значительной их части.

Города с наибольшим уровнем загрязнения воздуха в 1999 г.

Таблица 3

Город	Вещества, определяющие высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха	Город	Вещества, определяющие высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха
Балаково	Сероуглерод, формальдегид, диоксид азота	Москва (отдельные крупные районы)	Аммиак, диоксид азота, формальдегид
Бийск	Формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота	Новокузнецк	Формальдегид, взвешенные вещества, фтористый водород, диоксид азота
Братск	Диоксид азота, формальдегид, фтористый водород, сероуглерод	Новорос-сийск	Диоксид азота, бенз(а)пирен, взвешенные вещества
Екатеринбург	Формальдегид, бенз(а)пирен, акролеин	Омск	Формальдегид, ацетальдегид, сажа
Иркутск	Формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота	Ростов-на-Дону	Диоксид азота, формальдегид, взвешенные вещества
Кемерово	Сероуглерод, аммиак, формальдегид, сажа	Селен-гинск	Формальдегид, фенол, сероуглерод, метилмеркаптан
Красноярск	Бенз(а)пирен, взвешенные вещества, хлор	Тюмень	Взвешенные вещества, формальдегид, свинец
Краснодар	Фенол, формальдегид, взвешенные вещества	Улан-Удэ	Взвешенные вещества, формальдегид, диоксид азота
Липецк	Фенол, аммиак, формальдегид, диоксид азота	Хабаровск	Бенз(а)пирен, диоксид серы, диоксид азота, формальдегид, аммиак
Магадан	Фенол, формальдегид, диоксид азота	Чита	Бенз(а)пирен, формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота
Магнито-горск	Бенз(а)пирен, фенол, взвешенные вещества	Южно-Сахалинск	Сажа, взвешенные вещества, диоксид азота

Химические превращения загрязняющих веществ в атмосфере

Антропогенные факторы обуславливают нарушение сложившегося в природе круговорота не только углерода, кислорода, но и других элементов. Это проявляется в форме химического загрязнения компонентов биосферы, в том числе атмосферы, теми или иными ингредиентами» В одних случаях

подобное загрязнение выражается привнесением в среду новых, не характерных для нее ингредиентов, а в других случаях — превышением естественного средне-многолетнего уровня этих ингредиентов в среде. Рассмотрим с химических позиций генезис и поведение соединений серы и азота, а также хлорфторуглеродов (ХФУ) или фреонов, с которыми связаны многие глобальные проблемы биосферы (табл. 4).

Основные антропогенные загрязнители и обуславливаемые ими изменения в атмосфере (В. А. Вронский, 1996 г)

Таблица 4

Загрязнители атмосферного воздуха	Изменения в атмосфере под влиянием загрязнителей (V - усиление,- ослабление)					
	Парниковый эффект	Разрушение озонового слоя	Кислотные дожди	Фото-химический смог	Прозрачность атмосферы	Самоочищение атмосферы
Монооксид углерода (CO)						—
Диоксид углерода (CO ₂)	+					
Диоксид серы (SO ₂)			+		—	
Метан (CH ₄)	+					
Оксиды азота (NO, NO ₂ , N ₂ O)	+	+	+		-	—
Фреоны (ХФУ)	+	+				
Озон (O ₃)	+			+		

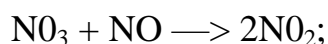
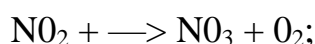
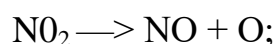
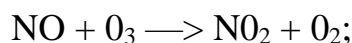
Оксиды серы и азота. Оксид серы (IV) поступает в атмосферу в огромных количествах с дымовыми газами предприятий тепловой энергетики. Каменный уголь всегда содержит в виде примесей так называемый углистый колчедан FeS_2 , при сгорании которого образуется SO_2 . Серосодержащая примесь в виде меркаптанов — обязательный компонент нефти и мазута. Меркаптаны — это органические производные сероводорода с общей формулой R-SH , где R — углеводородный радикал. Сгорая, меркаптаны также образуют диоксид серы. Что касается оксидов азота, то причина их

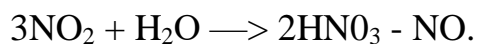
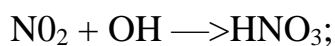
появления — в особенностях свойств атмосферного азота. При температурах выше 1300°С азот — в обычных условиях химически малоактивный — начинает взаимодействовать с другим компонентом атмосферного воздуха — кислородом.

В соответствии с принципом Ле Шателье равновесие этой обратимой реакции смещается вправо по мере повышения температуры, концентрация NO будет тем больше, чем выше температура. Подобный процесс имеет место как в природе (при газовых разрядах), так и при сжигании органического топлива в топках котельных агрегатов, в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания, в домнах при получении чугуна и т. п., с той разницей, что масштабы техногенной генерации NO несопоставимо больше таковой в природных условиях.

Механизм химического превращения загрязняющих веществ в атмосфере весьма сложен. Он может быть гомогенным (газофазным) и гетерогенным, молекулярным и радикальным, Важную роль в зарождении свободных радикалов играют фотохимические реакции, которые протекают под действием солнечного излучения. Любой фотохимический процесс начинается с диссоциации молекул на соответствующие радикалы — структурные фрагменты этих молекул. Поглощая свет различных длин волн, молекулы переходят в возбужденное состояние, они становятся активными, способными к химическим превращениям разного характера.

Важнейшие реакции газофазного превращения оксидов азота могут быть представлены следующим рядом:





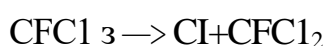
Характерной особенностью этих реакций является то, что некоторые из них носят циклический характер и по существу не способствуют выведению оксида азота из атмосферы. В результате циклических взаимодействий устанавливается динамическое равновесие NO и NO₂, характерное для данного уровня солнечного освещения. Согласно расчетам, для условий атмосферы над промышленными регионами в средних широтах летом суммарная скорость превращения оксидов азота в азотную кислоту составляет 0,12 ч. Среднее время жизни их относительно химических реакций не превышает 7 ч.

Под «кислотными дождями» понимают атмосферные осадки с pH < 5.

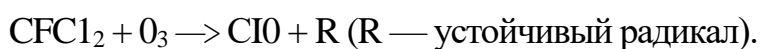
Экологические последствия таких дождей касаются практически всей территории земного шара, т. е. носят глобальный характер. Установлено, что при pH < 6,5 наблюдается негативное воздействие на флору и фауну водоемов. При pH < 5 жизнь рыб, моллюсков, фито- и зоопланктона прекращается, но начинается бурное развитие патогенных микроорганизмов и белого мха. От «кислотных дождей» уже пострадали десятки тысяч пресноводных водоемов и озер Канады, Норвегии и Швеции. Кроме того, «кислотные дожди» вызывают закисление и прогрессирующее падение плодородия почв, повреждение и гибель лесных массивов, коррозию зданий памятников мировой культуры, ухудшение здоровья людей. В Германии погибли тысячи гектаров хвойных лесов. Отмечено поражение лесов и в промышленных районах России: на Кольском полуострове, Южном Урале, в Сибири.

Галогенпроизводные углеводов. Галогенпроизводными называют соединения, которые можно рассматривать как продукты замещения одного или нескольких атомов водорода в молекуле углеводорода атомами галогенов. К ним

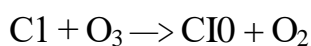
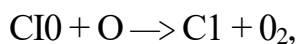
относятся, в частности, производные метана: фтортрихлорметан CFC1_3 (техническое название — фреон-11) и дифтордихлорметан $\text{CF}_2\text{C1}_2$ (фреон-12). Эти вещества широко применяются в качестве хладагентов в бытовых холодильниках и кондиционерах, а также в качестве растворителей для образования аэрозолей. После их использования и как хладагентов, и как растворителей в аэрозольных баллончиках, фреоны в конечном итоге оказываются в атмосферном воздухе, выступая теперь уже в качестве ЗВ. Исследования последних двух десятилетий показали, что фреоны оказывают разрушающее воздействие на озоновый слой Земли, причем это воздействие носит общепланетарный характер. Химически чрезвычайно инертные, фреоны минуют тропосферу практически без изменений. И только достигнув стратосферы, фреоны начинают свое разрушительное действие. Вначале происходит фотохимическая диссоциация фреона:



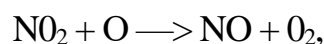
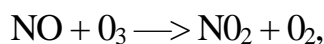
с образованием двух радикалов, один из которых затем быстро превращается в новый высокореакционный радикал СЮ:



Далее начинается циклический процесс



Определенную долю ответственности за гибель озона несет и оксид азота NO. Он попадает в атмосферу в основном с выхлопными газами высотных самолетов. И в этом случае осуществляется циклический процесс разрушения озона:



где катализатором служит NO.

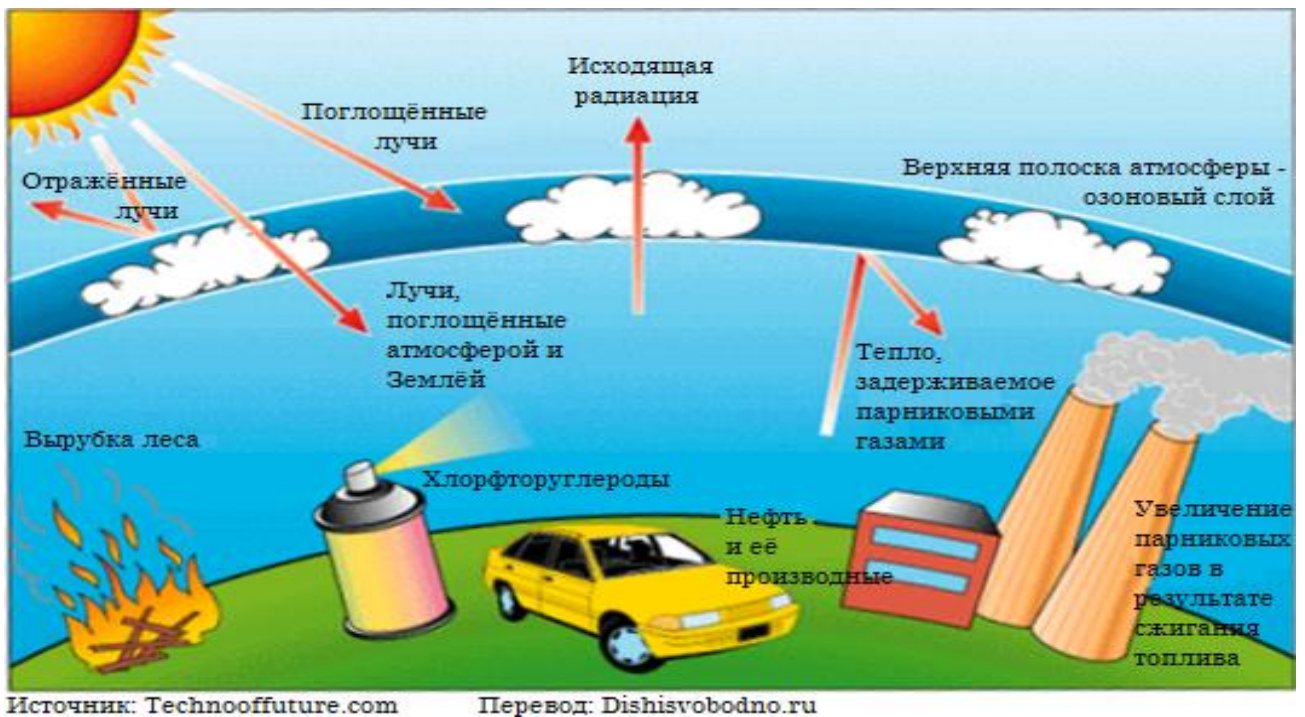


Рисунок 5. Влияние загрязняющих веществ на атмосферу

Возрастающие объемы поступления в стратосферу озоноразрушающих веществ в последние десятилетия не могли не сказаться на состоянии озонового слоя Земли. Существенно увеличились озоновые «дыры» над Антарктидой и Арктикой.

Понятия климата и погоды. *Климат* (по Н. Ф. Реймерсу, 1990 г.) — многолетний режим погоды, определяемый географической широтой местности, высотой над уровнем моря, удаленностью местности от океана, рельефом суши, характером подстилающей поверхности, антропогенными воздействиями и другими факторами.

Погодой называется отражение хода процессов в атмосфере в данное время. Она характеризуется следующими метеорологическими элементами: солнечной радиацией (продолжительностью солнечного сияния), температурой воздуха и поверхности почвы, влажностью воздуха, атмосферным давлением, скоростью и направлением ветра, облачностью, осадками, снежным покровом, горизонтальной видимостью и другими атмосферными явлениями в зависимости от размеров территории различают макроклимат, мезоклимат и микроклимат.

Макроклимат — климат значительных географических пространств — от географического района до планеты в целом.

Мезоклимат — климат относительно крупного подразделения географического ландшафта (например урочища), а также климат леса, поляны, долины, города и т. п.

Микроклимат — климат небольшой территории или искусственного образования (опушки леса, склона холма, берега озера, норы, кочки на болоте и т. и.). К микроклимату относят и климат приземного слоя воздуха.

Климат — свойство тропосферы, которая входит в географическую оболочку (биосферу). Поэтому он изменяется вместе со всей природой поверхности Земли, и зависит от всех остальных компонентов географической оболочки.

Прозрачность атмосферного воздуха и солнечная радиация. Прозрачность воздуха — свойство воздуха пропускать световые лучи. Она зависит от физических свойств и наличия в среде примесей.

Альbedo Земли — отношение солнечной радиации, отраженной Землей (с ее атмосферой) в мировое пространство, к солнечной радиации, поступившей на границу атмосферы. Средняя величина альbedo Земли — 35—45 % (или 0,35—0,45).

Первое следствие урбанизации — возникновение «островов тепла». Возникает это явление сразу по нескольким причинам.

Во-первых, в городах уменьшается альbedo подстилающей поверхности из-за появления на ней зданий, сооружений, искусственных покрытий и изменения некоторых характеристик приземного воздуха.

Большая часть элементов городской застройки (например, улицы и дороги, мягкие кровли зданий) имеет более низкое альbedo, чем естественный ландшафт. Конструкции зданий и сооружений накапливают поглощенное днем тепло с последующей его отдачей в атмосферу в вечерние и ночные часы.

Во-вторых, на урбанизированных территориях резко уменьшается расход тепла на испарение за счет сокращения площадей с открытым почвенным покровом и занятых зелеными насаждениями.

В-третьих, городская застройка приводит к формированию зон застоя воздуха, при малых скоростях ветра препятствует турбулентному перемешиванию приземного слоя атмосферы и выносу тепла в ее вышележащие слои.

Второй фактор образования «острова тепла» — изменение прозрачности атмосферы. Поступающие в атмосферный воздух различные примеси от предприятий и транспорта приводят к существенному уменьшению суммарной солнечной радиации. Но в еще большей степени они уменьшают встречное инфракрасное излучение земной поверхности, что в сочетании с теплоотдачей зданий и сооружений (промышленных объектов) приводит к появлению местного «парникового эффекта» и развитию на территории городов аномалий температуры, т. е. город как бы «накрывается» одеялом из парниковых газов и аэрозольных частиц.

Частицы, находящиеся в атмосфере над городом, ослабляют солнечное излучение примерно на 15 %.

Существенный вклад в повышение «температуры» городов вносит теплота от антропогенной деятельности: транспорта, промышленных предприятий и особенно тепловых электростанций.

Влажность воздуха, туманы и атмосферные осадки также находятся под влиянием городской застройки.

За счет «острова тепла» к центру города повторяемость (число дней с туманами) и продолжительность туманов уменьшается. В Москве, например, среднее число дней с туманами за год на ВДНХ — 18, в районе МГУ — 23.

**Разница в климатических условиях крупного города и его окрестностей
(по Б. Т и б о р у, 1980 г.)**

Таблица 5

Климатообразующие факторы	Фиксируемые показатели	Изменение
Вещества, загрязняющие воздух	Частицы пыли Сероводород Диоксид углерода Оксид углерода	10-кратное 5-кратное 10-кратное 25-кратное
Солнечное освещение	В горизонтальной плоскости Ультрафиолетовое излучение (зимой) Ультрафиолетовое излучение (летом)	В городе на 10—15 % меньше на 30 % меньше на 50 % меньше
Образование облаков	Образование облаков Количество тумана (зимой) Количество тумана (летом)	на 5—10 % меньше на 100 % больше на 30 % больше на 5—10 % больше
Осадки	Количество дождевые дни (за основу берется 5 мм осадков в день)	больше на 10 %
Температура	Среднегодовая температура Максимально низкая температура зимой	больше на 0,5-1,0 % больше на 1,0—2,0 % больше на 6 %
Относительная влажность	Среднегодовая зимой летом	меньше на 2 % меньше на 8 %
Скорость ветра	Среднегодовая Порывистый ветер Безветренная погода	меньше на 20-30 % меньше на 10—20 % меньше на 3—20 %
Видимость		чаще на 80-90 % хуже