***3.2. Естественное и искусственное загрязнение атмосферы***

**Основные источники и виды загрязнения воздушного бассейна**

Важнейшей характеристикой воздушного бассейна является его качество, так как нормальная жизнедеятельность людей требует не просто воздуха, но воздуха определенной чистоты. От качества воздуха зависят здоровье людей, состояние растительного и животного мира, прочность и долговечность любых конструкций зданий и сооружений. В процессе антропогенной деятельности атмосфера подвергается изъятию газовых элементов, загрязнению газовыми примесями и вредными веществами, нагреванию и самоочищению. *Привнесение в воздушную среду каких-либо новых веществ, не характерных для нее, называется загрязнением.*

Особенно острой проблема загрязнения атмосферы стала во второй половине XX в., то есть в период научно-технической революции, характеризующейся чрезвычайно высокими темпами роста промышленного производства, выработкой и потреблением электроэнергии, выпуском и использованием в большом количестве транспортных средств. В итоге отмечается изменение газового состава атмосферы: рост концентрации некоторых ее компонентов (углекислого газа — на 0,4 % , метана — на 1 % , закиси азота — на 0,2 % и др.) и появление новых загрязняющих веществ.

Загрязнение атмосферного воздуха может быть локальным, региональным и глобальным. Масштабы загрязнения связаны смощностью выброса и характером воздушных потоков. *Локальное загрязнение* обусловлено одним или несколькими источниками выбросов, зона влияния которых определяется, главным образом, изменчивой скоростью и направлением ветра. Под *региональным загрязнением* понимается загрязнение атмосферного воздуха на территории в сотни километров, которая находится под воздействием выбросов крупных производственных ком­плексов. *Глобальное загрязнение,* распространяется на тысячи километров от источника загрязнения и нередко смыкается в пределах всего земного шара. Это относится, прежде всего, к Северному полушарию планеты.

Основными источниками загрязнения атмосферы являются природные, производственные и бытовые процессы. *Естественное,* или *природное, загрязнение* происходит за счет естественных факторов: пылевых бурь, извержения вулканов, выдувания почв, лесных пожаров, различных продуктов растительного, животного или микробиологического происхождения.

*Производственное загрязнение* образуется в результате деятельности промышленных, сельскохозяйственных, строительных предприятий и при работе различных видов транспорта. На территории Беларуси основные выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух связаны с работой автомобильного транспорта (три четверти всех выбросов), промышленных предприятий и строительного комплекса. За период 1990—1999 гг. в результате усиления контроля за выбросами, увеличения доли природного газа в топливно-энергетическом балансе страны, спада производства в ряде отраслей промышленности произошло снижение объёма выбросов от стационарных источников в3,1 раза. Динамика показателей, характеризующих состояние и охрану воздушного бассейна, отражена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Основные показатели, характеризующие состояние и охрану воздушного бассейна Республики Беларусь\*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатель | 1990г. | 1995г. | 1999г. | 2010г. (прогноз) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Всего выбросов вредных веществ от стационарных источников, тыс. т. | 1 173,3 | 508,1 | 374,2 | 1 160-1 180 |
| В том числе: |  |  |  |  |
| твёрдых веществ | 132,7 | 50,9 | 41,6 | 131,5-133,8 |
| сернистого ангидрида | 563,4 | 218,2 | 124,9 | 479,9-488,2 |
| окислов азота | 101,6 | 54,6 | 50,5 | 89,0-90,5 |
| окиси углерода | 192,0 | 96,2 | 85,0 | 204,2-207,7 |
| Уловлено (обезврежено) вредных веществ, отходящих от стационарных источников, тыс. т. | 3 998,0 | 2 056,6 | 2 693,0 | ... |
| Удельный вес улавливаемых (обезвреженных) вредных веществ в общем количестве этих веществ, отходящих от стационарных источников, % | 77,4 | 80, | 87,8 | 83,0-85,0 |
| Выбросы вредных веществ от передвижных источников, тыс. т. | 2 229 | 1 692,5 | 1 047,0 | 2 060 — 2 070 |
| Выбросы вредных веществ от стационарных источников в расчете на душу населения | 114 | 49 | 37 | … |
| Выбросы вредных веществ от стационарных источников на 1 млрд. р. ВВП, т. | 419 | 2,9 | 5,47 | 34 — 38 |

\*Данная и другие таблицы второго раздела учебника составлены по источникам: Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь. Мн., 1997; Окружающая среда и природные ресурсы Республики Беларусь. 1999: Стат. сб. Мн., 1999.

Промышленные источники загрязнения анализируются по отраслям, а также по ингредиентам (составу загрязняющих веществ). В глобальном масштабе наиболее крупными загрязнителями являются теплоэнергетика, черная и цветная металлургия, химия и нефтехимия, промышленность строительных материалов.

Тепловые электростанции, теплоэлектроцентрали и отопительные котельные потребляют более одной трети добываемого в мире топлива и занимают ведущее место среди других отраслей промышленности по загрязнению воздушного бассейна окислами серы, азота и пылью. Вследствие техногенной деятельности человека увеличивается концентрация оксида и диоксида углерода в атмосфере. В форме продуктов сжиганиятоплива в атмосферу планеты ежегодно вносится 7 \* 1010 т. СО. В наибольшей степени загрязняют атмосферу опасными углеродными смесями пять стран, на долю которых приходится более половины всех выбросов в мире, это: США — 23 %, Китай — 13,9 %, Россия — 7,2 % , Япония — 5 % , Германия — 3,8 % . Если потребление минерального топлива будет возрастать, то это может обусловить нежелательные последствия для климата Земли, в частности, повышение температуры на 1,5—2°С.

Другие промышленные предприятия выбрасывают в воздушный бассейн свои специфические примеси. Так, с черной и цветной металлургиейсвязано образование в атмосфере огромного количества пыли, угарного газа, окислов азота и серы, фенола, формальдегида и многих других вредных веществ. Быстрое развитие химической и нефтехимической промышленности ведет к образованию в атмосфере и на поверхности Земли большого количества стойких токсических кислот. Машиностроение дает выбросы угарного газа, окислов азота, фенола, формальдегида, щелочей и других вредных веществ — спутников литейного, гальванического и красочного производств. В промышленности строительных материалов наиболее мощными выбросами вредной пыли отличаются предприятия по производству цемента.

Газообразные выбросы промышленных предприятий образует в атмосферном воздухе аэродисперсные системы и в результате турбулентного движения и других процессов долгое время удерживаются в воздухе. Дальность распространения загрязнений зависит от времени существования того или иного загрязнителя в воздухе и метеорологических условий, скорости и направления потоков в атмосфере, осадков и других процессов. Время пребывания в атмосфере углекислого газа составляет от одного до пяти лет, сернистого — до нескольких дней, твердых частиц — от нескольких секунд до нескольких месяцев и даже лет, в зависимости от их объемов и высоты источника. В результате выброса в атмосферу огромного количества двуокиси серы и окислов азота резко увеличилась кислотность выпадаемых осадков: дождей, снега, тумана. Кислотные осадки снижают урожай, губят растительность, уничтожают жизнь в пресных водоемах. Ветры, не знающие драниц, переносят кислотные осадки на огромные расстояния. По некоторым данным, 20 % кислотных осадков в Европе вызваны выбросами промышленности Северной Америки.

Среди отраслей промышленности Беларуси в конце XX ст. особо выделяется энергетика (на ее долю приходится 30—36 % от общего объема промышленных выбросов), топливная про­мышленность (в основном нефтеперерабатывающая) — 16, хи­мическая и нефтехимическая — 6, машиностроение — 10, промышленность строительных материалов — около 9 %. В составе выбросов преобладают сернистый ангидрид (43 %), окислы углерода (20 %), окислы азота (11 %), твердые выбросы (10 %).

Оценка интенсивности выбросов (отношение массы выбросов к стоимости ВВП), проведенная в начале 90-х годов, показала, что, по сравнению с большинством индустриально развитых стран, предприятия Беларуси выбрасывали в атмосферу в 1,5 — 2,0 раза больше загрязняющих веществ (особенно SO2), но значительно меньше, чем другие страны Центральной и Восточной Европы. Эти более высокие, чем у соседей, экологические результаты получены благодаря следующим факторам: значению природного газа в топливно-энергетическом балансе страны; практически полному отсутствию электростанций, работающих на угле; относительно низкой доле угля в потребляемом топливе Жилищного сектора.

На загрязнении воздушного бассейна Земли сказывается и сельскохозяйственная деятельность человека. Вносимые в почву агрохимикаты распространяются в окружающую среду за счет выветривания и с почвенной влагой. Загрязнителями являются чаще всего пестициды, используемые для защиты сельскохозяйственных культур и леса от вредителей и болезней. Особенно возрастает влияние животноводства в связи со строительством крупных животноводческих комплексов. В результате в атмосферу поступают и распространяются на значительные расстояния аммиак, сероводород и другие газы с резким запахом.

Все более мощными загрязнителями воздушного бассейна выступают различные виды транспорта. Бурный рост автомобильного транспорта во многих странах мира обеспечил ему первое место по загрязнению окружающей среды. Автотранспорт — подвижный источник загрязнения, однако наиболее негативно его воздействие в городах. Автомобильные выхлопные газы представляют смесь примерно 200 веществ. Основными вредными примесями являются: оксиды углерода, азота, углеводороды, альдегиды, сернистые газы. Из-за неполного сгорания топлива в двигателе часть углеводородов превращается в сажу, содержащую смолистые вещества. Весьма опасной составной частью выхлопных газов автомашин являются соединения, образую­щиеся при сгорании в двигателе тетраэтилсвинца, который добавляют к бензину. Выбросы угарного газа (СО), как и иных загрязнителей, в Беларуси, России, других странах СНГ во многом обусловлены низкими экологическими параметрами автомобилей.

Загрязнение воздушной среды железнодорожным транспортом происходит при использовании тепловозов, проведении погрузочно-разгрузочных работ. Серьезную опасность представляет авиация, так как работа реактивных двигателей связана с расходованием огромного количества кислорода. Запуск сверхмощных ракет нарушает целостность озонового слоя атмосферы и открывает доступ к Земле губительному ультрафиолетовому излучению Солнца. Околоземные слои атмосферы засоряются уже нефункционирующими космическими аппаратами.

Многие *бытовые процессы также ведут к загрязнению воз душной среды,* прежде всего — накопление, сжигание и переработкабытовых отходов. Канализационные системы, кухни, мусоропроводы, свалки являются источниками загрязнения атмосферы городов и других населенных мест. В большом городе заметно проявляется загрязнение воздуха его населением. Каждый человек ежедневно выдыхает около 10 м3 воздуха, насыщенного парами воды и содержащего около 4 % углекислогогаза. Поэтому в городе с пятимиллионным населением люди ежесуточно выделяют в атмосферу около 2 млн. м3 углекислого газа, 600 м3водяного пара.

Одним из результатов деятельности человечества в XX ст. явилось загрязнение атмосферы и других компонентов природы *радиоактивными элементами.* Радиоактивное загрязнение окружающей среды представляет собой увеличение естественного радиационного фона в результате использования человеком естественных и искусственных радиоактивных веществ.

Источниками радиоактивного загрязнения окружающей среды явились, прежде всего, экспериментальные взрывы при испытаниях атомных и водородных бомб, различные производства, связанные с изготовлением ядерного оружия**,** а также ядерные реакторы и атомные электростанции, отходы атомных предприятий и установок. Различного рода повреждения и аварии атомных реакторов в Англии, Франции, Болгарии, Германии, США и в ряде других стран мира приводили к выбросам в окружающую среду. Крупнейшей катастрофой явился взрыв ядерного реактора на Чернобыльской АЭС в 1986 г. Радиоактивное загрязнение воздушной среды такими летучимиэлементами, как цезий-137, стронций-90, плутоний распространилось по всей Европе. Самое большое пятно очень сильного загрязнения (более 40 Ки на 1 км2) находится в Беларуси — 2,6 км2, далее идут Украина — 0, 56 км - и Россия — 0,46 км2. В других странах Европы загрязнение не превышает 2 — 5 Ки на 1 км, такие пятна были обнаружены в Финляндии, Австрии, Швеции и Франции. По оценкам отдельных ученых, на рубеже нового тысячелетия население земного шара получает дополнительное облучение, вдвое большее, чем доза естественного радиационного фона.

Воздушная среда является распространителем таких специфических "загрязнителей", как шумы, инфразвук, вибрации, электромагнитные поля и ионизирующие излучения. Различают два вида шумов — воздушный и структурный. *Воздушный шум* распространяется в воздухе от источника возникновения до места наблюдения, *структурный шум* излучается поверхностями колеблющихся конструкций стен, перекрытий, перегородок зданий. В зависимости от физической природы шумы могут быть механического, аэродинамического, электромагнитного, гидродинамического происхождения. Воздушный шум проникает в помещения через закрытые или открытые окна, форточки, а также стены; вибрации передаются по грунту или трубопроводам, идущим к строительным конструкциям, колебания которых вызывают появление структурного шума. Возникающее при этом звуковое давление оказывает разрушительное воздействие на организм человека, особенно на его психику.

Шумовые характеристики транспортных средств на автомобильных магистралях крупных городов Беларуси составляют 70—85 дБ (децибел), трамвайных линий — от 71 до 80, железно-Дорожных потоков — от 60 до 75, вблизи аэропортов — до 105 дБ. На отдельных пригодных для заселения территориях, примыкающих к промышленным предприятиям г. Минска, уровни звукового давления достигают 100—120 дБ (допустимо 60 дБ). В целом в Минске более чем четвертая часть селитебной территории, на которой проживает около 30 % населения города, находится в зонах акустического дискомфорта. *Шимова, О.С. [и др.]. Основы экологии и экономики природопользования: учебник / О.С. Шимова, Н.К. Соколовский. – Минск: БГЭУ, 2002. (стр. 67-73)*

*Дополнительная литература (стр. 52-66): Витченко А.Н. Геоэкология: курс лекций / А.Н. Витченко. – Мн.: БГУ, 2002. – 101 с.*

Процессы и особенности атмосферы изменяются под воздействием деятельности человека. Крупномасштабные антропогенные изменения поверхности Земли (обезлесение, опустынивание, деградация внутренних морей и озер и др.) обусловливают изменения особенностей энергетического и водного режима атмосферы. Локальные изменения состояния геосистем, такие как возникновение и развитие городов, оросительных и других земледельческих систем, антропогенные преобразования пастбищ, возникновение водохранилищ и т. д. ведут к локальным вариациям климата. Наряду с изменениями физических особенностей атмосферы, происходят антропогенные трансформации ее газового состава, в совокупности создающие ряд серьезных геоэкологических проблем. К их числу относятся антропогенное изменение климата и его последствия, нарушение естественного состояния озонового слоя, асидификацию окружающей среды, включая кислотные осадки, и локальное загрязнение атмосферы.

**Парниковый эффект.** Источником энергии атмосферных процессов является солнечная радиация. К земной поверхности приходит коротковолновая радиация, тогда как нагреваемая таким образом Земля испускает в атмосферу и далее за ее пределы энергию в виде длинноволнового (инфракрасного, или теплового) излучения. Некоторые газы в атмосфере, включая водяной пар, отличаются парниковым эффектом, то есть способностью в большей степени пропускать к поверхности Земли солнечную радиацию по сравнению с тепловым излучением, испускаемым нагретой Солнцем Землей. В результате температура поверхности Земли и приземного слоя воздуха выше, чем она была бы при отсутствии парникового эффекта. Средняя температура поверхности Земли равна плюс 15 °С, а без парникового эффекта она была бы минус 18 °С. Парниковый эффект – один из механизмов жизнеобеспечения на Земле.

Ведущую роль в парниковом эффекте играет водяной пар, находящийся в атмосфере. Большое значение также имеют газы, не отличающиеся высокой концентрацией в атмосфере. К ним относятся: углекислый газ (диоксид углерода) (СОз), метан (СН4), оксиды азота, в особенности N2О, и озон (Оз). В эту же категорию следует включить не встречающуюся в природе группу газов, синтезируемых человеком, под общим названием хлорфторуглероды. Деятельность человека за последние 200 лет привела к повышению концентрации в атмосфере газов, обладающих парниковым эффектом. Реакция атмосферы на этот процесс заключается в антропогенном усилении естественного парникового эффекта.

Парниковый эффект каждого из парниковых газов зависит от трех основных факторов: а) ожидаемого парникового эффекта на протяжении ближайших десятилетий или веков, вызываемого единичным объемом газа, уже поступившим в атмосферу, по сравне­нию с эффектом от углекислого газа, принимаемым за единицу; б) типичной продолжительности его пребывания в атмосфере; в) объема эмиссии газа.

Комбинация первых двух факторов носит название «Относительный парниковый потенциал», выражается в единицах от потенциала СО2 и является показателем текущего состояния парникового эффекта.

Для понимания глобального парникового эффекта необходимо понять роль каждого из газов. Роль водяного пара, содержащегося в атмосфере, в общемировом парниковом эффекте велика, но не определяется однозначно. В основном при потеплении климата содержание водяного пара в атмосфере будет увеличиваться тем самым, усиливая парниковый эффект.

Диоксид углерода, или углекислый газ (СО2), отличается, по сравнению с другими парниковыми газами, относительно низким потенциалом парникового эффекта, но довольно значительной продолжительностью существования в атмосфере – 50–200 лет и сравнительно высокой концентрацией. Доля диоксида углерода в парниковом эффекте составляет в настоящее время около 64 %, но эта относительная величина неустойчива, поскольку зависит от изменяющейся роли других парниковых газов.

Основной источник антропогенного поступления углекислого газа в атмосферу – сжигание горючих ископаемых (угля, нефти, газа) для производства энергии. При современном уровне эмиссии углекислого газа концентрация его в атмосфере будет неуклонно увеличиваться. Стабилизация концентрации может быть достигнута посредством значительного сокращения объема выбросов.

Метан (СН4) также играет заметную роль в парниковом эффекте, составляющую приблизительно 19 % от общей его величины. Метан образуется в анаэробных условиях, таких как естественные болота разного типа, толща сезонной и вечной мерзлоты, рисовые плантации, свалки, а также в результате жизнедеятельности жвачных животных и термитов. Около 20 % суммарной эмиссии метана связаны с технологией использования горючих ископаемых (сжигание топлива, эмиссии из угольных шахт, добыча и распределение природного газа, переработка нефти). Всего антропогенная деятельность обеспечивает 60–80 % суммарной эмиссии метана в атмосферу.

В атмосфере метан неустойчив. Он удаляется из нее вследствие взаимодействия с ионом гидроксила (ОН) в тропосфере. Несмотря на этот процесс, концентрация метана в атмосфере увеличилась примерно вдвое по сравнению с доиндустриальным временем и продолжает расти со скоростью около 0,8 % в год.

Доля оксида азота (N2О) в суммарном парниковом эффекте составляет всего около 6 %. Концентрация оксида азота в атмосфере также увеличивается. Его антропогенные источники приблизительно вдвое меньше естественных. Источниками антропогенного оксида азота является сельское хозяйство, сжигание биомассы и промышленность, производящая азотсодержащие вещества. Его относительный парниковый потенциал (в 290 раз выше потенциала углекислого газа) и типичная продолжительность существования в атмосфере (120 лет) значительны и компенсируют его невысокую концентрацию.

Хлорфторуглероды (ХФУ) – это вещества, синтезируемые человеком, и содержащие хлор, фтор и бром. Они обладают очень сильным относительным парниковым потенциалом и значительной продолжительностью жизни в атмосфере. Их итоговая роль в парниковом эффекте составляет приблизительно 7 %. Производство хлорфторуглеродов в мире в настоящее время контролируется международными соглашениями по защите озонового слоя, включающими и положение о постепенном снижении производства этих веществ, замене их на менее озонразрушающие с последующим полным его прекращением. В результате концентрация ХФУ в атмосфере начала сокращаться.

Озон (Оз) – важный парниковый газ, находящийся как в стратосфере, так и в тропосфере. Он влияет как на коротковолновую, так и на длинноволновую радиацию, и потому итоговые направление и величина его вклада в радиационный баланс в сильной степени зависят от вертикального распределения содержания озона, в особенности на уровне тропопаузы, где надежных наблюдений пока недостаточно. Поэтому определение вклада озона в парниковый эффект сложнее по сравнению с хорошо перемешиваемыми газами. Его территориальное распределение очень изменчиво, а масса в тропосфере составляет не более 10 % массы стратосферного озона. Под воздействием солнечной радиации оксиды азота, выделяемые главным образом автомобильным транспортом, распадаются с выделением озона. Образуется так называемый фотохимический смог, опасный для здоровья человека и наносящий серьезный ущерб растениям, в том числе сельскохозяйственным культурам.

На образование парникового эффекта также оказывают воздействие тропосферные аэрозоли. Аэрозоли – это твердые частицы в атмосфере диаметром от 10-9 до 10-5 м. Они образуются вследствие ветровой эрозии почвы, извержений вулканов и других природных процессов, а также благодаря деятельности человека (сжигание горючих ископаемых и биомассы). Антропогенные аэрозоли влияют на радиационный баланс Земли непосредственно через поглощение и рассеивание солнечной радиации, и косвенно, как ядра конденсации, играющие важную роль в образовании и развитии облаков. Существует много неопределенностей в понимании роли аэрозолей в парниковом эффекте из-за высокой региональной изменчивости их концентрации и химической композиции. В целом антропогенные аэрозоли снижают величину радиационного баланса, то есть несколько компенсируют антропогенный парниковый эффект. В отличие от парниковых газов, типичный срок существования аэрозолей в атмосфере не превышает нескольких дней. Поэтому их радиационный эффект быстро реагирует на изменения эмиссии загрязнений и столь же быстро прекращается. В отличие от глобального воздействия газов с парниковым эффектом эффект атмосферных аэрозолей является локальным.

Извержения вулканов – нерегулярный, но существенный фактор образования высоких концентраций аэрозольных частиц, вызывающих рассеивание солнечной радиации и поэтому заметное похолодание, сравнимое в некоторых случаях по масштабам с глобальным парниковым эффектом. Накопление парниковых газов в атмосфере и последующее усиление парникового эффекта приводит к повышению температуры приземного слоя воздуха и поверхности почвы. За последние сто лет средняя мировая температура повысилась приблизительно на 0,3–0,6 °С. Наблюдаемый рост температуры обусловлен не только естественными колебаниями климата, но и деятельностью человека. Прогрессирующее антропогенное накопление парниковых газов в атмосфере может привести к дальнейшему усилению парникового эффекта.

**Изменение климата и его последствия.** Климат всегда оказывал существенное воздействие как на естественные, так и на социально-экономические процессы. Потепление климата привлекло к себе внимание мирового сообщества и побудило ученых, практиков и политиков рассматривать климат как важнейший природный ресурс, перераспределение которого между государствами имеет серьезные социально-экономические и политические последствия, определяющие благосостояние государств мира.

Оценки ожидаемых изменений климата обычно производятся на основе использования глобальных моделей циркуляции атмосферы. Их сложность постоянно увеличивается по мере совершенствования технических качеств компьютеров и накопления новых данных наблюдений. Однако точность моделей все еще не высока даже для расчетов на глобальном уровне. Прогноз же изменений по регионам мира, чрезвычайно важный для практических целей, пока еще вряд ли надежен. Кроме того, необходимо учитывать возможные изменения в деятельности человека, осознанные или неосознанные, приводящие к изменениям в накоплении парниковых газов, а значит и к последующим изменениям парникового эффекта. Эти обстоятельства учитываются посредством составления различных сценариев.

В соответствии со сценариями наиболее низкой и высокой вероятной величины эмиссии парниковых газов средняя мировая температура приземного слоя воздуха за период с 1990 по 2100 г. увеличится соответственно на 1 и 3,5 °С. В любом варианте потепление будет значительнее, чем все колебания климата в течение последних 10000 лет, и это является серьезной проблемой для человечества. Рост температуры воздуха будет сопровождаться увеличением количества осадков, хотя картина пространственного изменения распределения осадков будет более пестрой, чем распределение температуры воздуха. Вариация изменения осадков будет находиться в пределах от –35 % до +50 %. Надежность оценки изменений влажности почвы, что столь важно для сельского хозяйства, также значительно ниже, чем оценки изменения температуры воздуха. Очень важно, что относительно небольшие изменения средних показателей климата будут, по всей вероятности, сопровождаться повышением частоты редких катастрофических событий, таких как тропические циклоны, штормы, засухи, экстремальные температуры воздуха и пр.

Следует также отметить, что в больших многокомпонентных системах между временем наступления причины и следствия существует определенное запаздывание. Очень высокая инерционность всех событий вызывает большие трудности при разработке и осуществлении стратегий взаимодействия общества с изменяющимся климатом.

Согласно данным Межправительственного комитета по изменению климата (*IРСС*), имея в виду, что неопределенность развития событий весьма велика, можно все же ожидать нижеследующие последствия изменения климата.

*Изменения ландшафтов суши.* В средних широтах повышение температуры на 1–3,5 °С за ближайшие сто лет будет эквивалентно смещению изотерм на 150–550 км по широте в сторону полюсов, или на 150–550 м по высоте. Соответственно начнется перемещение растительности. Флора и фауна отстанут от того климата, в котором они развивались, и будут существовать в другом климатическом режиме. Скорость изменений климата будет, по-видимому, выше, чем способность некоторых видов приспосабливаться к новым условиям, и ряд видов может быть потерян. Могут исчезнуть некоторые типы лесов. Экосистемы не будут передвигаться вслед за климатическими условиями как нераздельная единица; их компоненты будут перемещаться с различной скоростью, в результате чего сформируются новые комбинации видов, то есть возникнут новые экосистемы и их наборы более высоких рангов. Леса умеренного пояса потеряют часть деревьев при сопутствующем увеличении эмиссии углекислого газа, образующегося при окислении отмирающей биомассы.

Пространственное приспособление экосистем к новым климатическим условиям, связанное с миграцией видов, будет осложняться антропогенными препятствиями, такими как сельскохозяйственные угодья, населенные пункты, дороги и пр. Наибольшие изменения произойдут в арктическом и субарктическом поясах. Сократятся компоненты криосферы: морские льды, горные и небольшие покровные ледники, глубина и распространение вечной и сезонной мерзлоты, площадь и продолжительность залегания сезонного снежного покрова. Ландшафты сдвинутся в сторону полюса при их значительной трансформации. Можно ожидать развития пока еще плохо предсказуемых обратных связей.

Частичная деградация вечной и сезонной мерзлоты повлияет на увеличение эмиссии углекислого газа и перестройку процессов эмиссии метана в атмосферу. От трети до половины массы горных ледников растает, в то время как ледниковые покровы Антарктики и Гренландии в ближайшие сто лет практически не изменятся. Пустыни станут еще более аридными вследствие более значительного повышения температуры воздуха по сравнению с осадками. Прибрежные морские системы вследствие их разнообразия будут по-разному реагировать на увеличение температуры воздуха и рост уровня океана.

В последнее столетие происходил неуклонный рост среднего уровня Мирового океана, составивший 10–25 см. Основные причины роста уровня океана - термическое расширение воды вследствие ее нагревания из-за потепления климата, а также дополнительный приток воды вследствие сокращения горных и небольших полярных ледников. Эти же факторы будут работать и в дальнейшем, с постепенным подключением в более отдаленном будущем талых вод Гренландского, а затем и Антарктического ледниковых щитов. В соответствии со сценариями для минимального и максимального повышения температуры уровень Мирового океана поднимется к 2100 г. соответственно на 15 и 95 см. Уровень океана будет продолжать расти в течение нескольких столетий после 2100 г., даже если концентрация парниковых газов стабилизируется.

Рост уровня океана с сопутствующим увеличением частоты и силы штормовых нагонов приведет к затоплению низко расположенных территорий, разрушению берегов с угрозой сооружениям, на них находящимся, увеличению солености рек в их устьях и подземных вод, изменению условий транспорта наносов и растворенных веществ и многим другим, зачастую плохо предсказуемым последствиям. В особенности пострадают низкие острова и плоские побережья, в том числе многие крупные и сверхкрупные города. Могут возникнуть весьма значительные миграции населения с серьезными экономическими и политическими последствиями.

В прибрежной зоне живет более половины человечества. Поэтому проблемы последствий изменения климата добавятся к уже существующим проблемам, возникшим вследствие высокой и увеличивающейся антропогенной нагрузки на прибрежные системы. В настоящее время около 46 млн чел. подвержены риску затопления от морских штормов. При росте уровня океана на 1 м этот показатель возрастает до 118 млн чел. даже без учета ожидаемого прироста населения. Некоторые островные страны практически перестанут существовать.

*Океан.* Изменение климата может также воздействовать на изменения циркуляции вод океана, что в свою очередь повлияет на обилие питательных веществ, биологическую продуктивность, структуру и функции морских экосистем с последующим воздействием на потоки углерода и, следовательно, на режим парниковых газов и климат.

*Водные ресурсы.* Климат и его изменения в первую очередь оказывают влияние на гидрологический режим; использование, локальное и глобальное перераспределение водных ресурсов; работу водохозяйственных систем; поиск новых водных ресурсов и обоснование строительства гидротех­нических сооружений.

Изменения климата приведут к интенсификации глобального гидрологического цикла и заметным региональным изменениям, хотя конкретный региональный прогноз пока ненадежен. Относительно небольшие изменения климата могут вызвать нелинейные изменения суммарного испарения и влажности почвы, что приведет к относительно большим изменениям стока, в особенности в аридных районах. В отдельных случаях при росте средней температуры на 1–2 °С и сокращении осадков на 10 % средний годовой сток может сократиться на 40–70 %. Потребуются значительные капиталовложения для приспособления водохозяйственных систем к новым условиям. В особенности серьезные проблемы возникнут там, где водопотребление уже значительно, или где велико загрязнение вод.

*Сельское хозяйство.* Оценки показывают, что в СНГ и США около 70 % потерь, связанных с неблагоприятными погодными и климатическими условиями, приходится на сельское хозяйство. Изменение климата окажет серьезное влияние как вследствие непосредственного климатического воздействия на агроэкосистемы, так и из-за необходимости приспособления сельского хозяйства к новым условиям.

Воздействия на агроэкосистемы будут весьма сложными и неод­нозначными. Вследствие увеличения концентрации углекислого газа несколько возрастут величины фотосинтеза и, возможно, урожай. Зависимость продуктивности сельскохозяйственного производства от изменений климата определяется географическим районом. В районах, где земледелие лимитируется притоком тепла, вероятность повышения урожая увеличится. В аридных и семиаридных районах, где оно ограничено наличием доступной для растений влаги, изменение климата отразится неблагоприятным образом. Потребности в воде для орошения найдут серьезную конкуренцию с другими потребителями водных ресурсов – промышленностью и коммунальным водоснабжением. Более высокие температуры воздуха будут способствовать ускорению естественного разложения органического вещества почвы, снижая ее плодородие. Увеличится вероятность распространения вредителей и болезней растений.

Нельзя оставить без внимания влияние потепления климата и на животноводство. Продуктивность скота (мясомолочная продукция) будет возрастать в теплые зимние сезоны и уменьшаться в теплые летние сезоны. Высокие летние температуры могут увеличивать смертность старых животных в результате тепловых стрессов и других явлений.

В целом ожидается, что общемировой уровень производства продуктов сельского хозяйства может быть сохранен, но региональные последствия будут варьироваться в широких пределах. На территории СНГ ожидаемые урожаи пшеницы изменятся от –19 до +41 %. Вариации урожая пшеницы в Канаде и США будут очень значительными, от –100 до +234 %, а риса в Китае, например, от –78 до +28 %. В развивающихся районах мира возрастет риск голода. Общая картина мировой торговли продуктами сельского хозяйства может существенно измениться.

*Энергетика.* Влияние метеорологических и климатических факторов на энергетику осуществляется через изменение условий производства энергии, эксплуатации и содержания энергетических систем, а также колебания спроса на энергию со стороны потребителей. Наиболее чувствительна к погодным и климатическим факторам гидроэнергетика.

Возобновляемые энергоресурсы зависят от климатических условий даже при самом благоприятном развитии технологического процесса. В настоящее время роль возобновляемых источников в общем энергетическом балансе весьма небольшая, хотя и имеет тенденцию к увеличению. Экспертные оценки показывают, что к 2020 г. доля возобновляемых источников энергии в мировом балансе может составить не более 15 % и прирост будет достигнут в основном за счет использования гидроресурсов.

Использование ветровой и солнечной энергии в ближайшие десятилетия не даст существенного вклада в развитие мировой энергетики в силу того, что концентрация солнечной и ветровой энергии потребует огромных материальных вложений и удорожания электроэнергии.

Развитые страны используют около 17 % общей энергии на производство продовольствия. В развивающихся странах количество потребляемой на эти нужды энергии – от 30 до 60 %. Для получения урожаев с ирригационных площадей использование энергии возрастает на 400 %. Следовательно, в случае потепления климата для сохранения сборов зерна на современном уровне должно произойти увеличение используемой энергии. Это приведет в том числе к увеличению сжигания органического топлива, следовательно, к возрастанию концентрации СО2 в атмосфере и еще большему потеплению климата. В этой связи необходимо ограничивать сжигание органического топлива и предварительно извлекать из него серу, поскольку имеется серьезная проблема влияния кислых дождей на растительность и воду. С целью исключения указанных воздействий следует увеличить использование возобновляемых, экологически чистых источников энергии, а также термоядерной энергии.

Ожидаются также значительные изменения, касающиеся проблем здоровья людей, транспорта, промышленности и многих других аспектов. Предстоящее изменение климата и его последствия – это крупнейшая проблема выживания человечества, требующая международного сотрудничества по координации действий каждой страны. Стратегия сотрудничества распадается на два основных компонента: управление и приспособление. При стратегии управления проблемой основные усилия направлены на снижение эмиссии парниковых газов, прежде всего углекислого газа. При осуществлении стратегии приспособления разрабатываются, например, комплексные проекты защиты конкретных прибрежных зон (систем) от растущего уровня моря. Основной документ, регулирующий сотрудничество в области изменения климата, – Конвенция ООН по изменению климата, принятая в июне 1992 г. в Рио-де-Жанейро на Конференции ООН по окружающей среде и развитию. В соответствии с Конвенцией, страны-участники должны взять на себя обязательство по сокращению эмиссии парниковых газов и прежде всего углекислого газа.

**Проблема деградации озонового слоя.** Максимальная концентрация озона сосредоточена в тропосфере на высотах 15–30 км, где существует озоновый слой. При нормальном приземном давлении весь атмосферный озон образовал бы слой всего 3 мм толщиной.

Озоновый слой тоньше в экваториальных районах и толще в полярных. Он отличается значительной изменчивостью во времени и по территории (до 20 %) вследствие колебаний солнечной радиации и циркуляции атмосферы, что маскирует антропогенные воздействия.

Даже при столь малой мощности озоновый слой в стратосфере играет очень важную роль, защищая живые организмы Земли от вредного воздействия ультрафиолетовой радиации Солнца. Озон поглощает ее жесткую часть с длинами волн 100–280 нм и большую часть радиации с длинами волн 280–315 нм. Кроме того, поглощение озоном ультрафиолетового излучения приводит к нагреванию стратосферы и в значительной степени определяет ее тепловой режим и динамические процессы, протекающие в ней. С воздействием жесткой ультрафиолетовой радиации связаны неизлечимые формы рака кожи, болезни глаз, нарушения иммунной системы людей, неблагоприятные воздействия на жизнедеятельность планктона в океане, снижение урожая зерновых и другие геоэкологические последствия.

Предполагается, что жизнь на Земле возникла после образования в атмосфере Земли озонового слоя, когда сформировалась ее надежная защита. Особенно большой интерес к озону возник в 70-е гг., когда были обнаружены антропогенные изменения содержания озона в результате выбросов в атмосферу окислов азота в результате атомных взрывов в атмосфере, полетов самолетов в стратосфере, при использовании минеральных удобрений и сжигании топлива. Однако наиболее мощным антропогенным фактором, разрушающим озон, являются фтор-, хлорпроизводные метана, этана и циклобутана. Этим соединениям дано название фреоны. Они широко используются при производстве хо­лодильников и кондиционеров, аэрозольных упаковок. Еще более эффективно разрушают озон бромсодержащие соединения, которые также являются продуктом человеческой деятельности. Они выбрасываются в атмосферу в результате сельскохозяйственного производства, при сжигании биомассы, работе двигателей внутреннего сгорания и т. д.

Вследствие деятельности человека с конца 1960-х гг. до 1995 г. озоновый слой потерял около 5 % массы. Ожидается, что максимум потерь стратосферного озона будет достигнут к началу XXI в. с последующим постепенным восстановлением в течение первой его половины в соответствии с Конвенцией по защите озонового слоя.

В связи с исключительной важностью озонового слоя для сохранения жизни на Земле в 1985 г. в Вене была подписана Конвенция по охране озонового слоя. В 1987 г. был подписан Монреальский протокол по запрещению выбросов озоноразрушающих веществ в атмосферу. В 1990 г. в Лондоне и в 1992 г. в Копенгагене были внесены поправки к последнему протоколу. Генеральная Ассамблея ООН в декабре 1994 г. приняла решение объя­вить 16 сентября международным днем охраны озонового слоя Земли.

**Проблема кислотных осадков и асидификации окружающей среды.** Асидификация – это антропогенный природный процесс повышения кислотной реакции компонентов окружающей среды, прежде всего атмосферы, гидросферы и педосферы, а также усиления воздействия повышенной кислотности на другие природные явления.

В естественных условиях атмосферные осадки обычно имеют нейтральную или слабокислую реакцию, то есть показатель их кислотности обычно меньше 7,0 (рН≤7). Кислотные осадки (рН<5) бывают двух типов: сухие, обычно выпадающие вблизи источника их поступления в атмосферу, и влажные (дождь, снег и пр.), распространяющиеся на большие расстояния, соизмеримые с размерами континентов, и потому зачастую превращающие проблему кислотных осадков в международную.

Основные компоненты кислотных осадков – аэрозоли аммиака, оксидов серы и азота, которые при взаимодействии с атмосферной, гидросферной или почвенной влагой образуют серную, азотную и другие кислоты. Кислотные осадки имеют как естественное, так и антропогенное происхождение. Основные природные источники – извержения вулканов, лесные пожары, дефляция почв и др. Источниками антропогенных кислотных осадков являются процессы сжигания горючих ископаемых, главным образом угля, в тепловых электростанциях, в котельных, в металлургии, нефтехимической промышленности, на транспорте и пр.

В настоящее время антропогенная эмиссия кислотных соединений для мира в целом превышает их суммарные естественные выбросы. В Северном полушарии это соотношение достигает 90:10, вследствие широкого использования ископаемого топлива в Европе и Северной Америке. Эти территории выбрасывают в атмосферу около 70 % общемирового объема веществ, образующих антропогенные кислотные осадки, при населении, составляющем только 14 % населения мира. Основные области распространения кислотных осадков – промышленные районы (Северная Америка, Западная Европа, Япония, Корея и Китай, промышленные узлы в России, отдельные пятна в развивающихся странах). Доля развивающихся стран в распространении кислотных осадков постоянно нарастает и будет еще увеличиваться. В особенности заметным будет усиление асидификации в Азии.

Основной путь контроля кислотных осадков – применение технологических приемов, снижающих эмиссию оксидов серы и азота: использование менее загрязняющего топлива благодаря промывке измельченного угля перед его сжиганием, понижение температуры сжигания угля, извлечение серы из отходящих газов и т. п. Другой путь – экономия в использовании энергии.

При оценке реального воздействия кислотных осадков на ландшафты и их компоненты необходимо сравнивать величины осадков с буферной способностью почв и почвообразующих пород. В целом в зонах недостаточного увлажнения кислотные осадки нейтрализуются и потому серьезной проблемы не представляют. Наоборот, в зонах избыточного увлажнения воздействие кислотных осадков на почвы, леса, водные объекты сказывается наиболее неблагоприятным образом.

Поскольку кислотные осадки переносятся на значительные расстояния, возникает необходимость в международном сотрудничестве в этой области. С этой целью в 1979 г. заключена европейская (с участием США и Канады) Конвенция по трансграничному переносу загрязнений воздуха, к которой впоследствии добавился ряд протоколов по сокращению эмиссии оксидов серы и азота. В процессе выполнения Конвенции достигнуты значительные успехи в снижении асидификации. В большей степени успехи относятся к соединениям серы, в меньшей – к соединениям азота.

Одной из серьезных локальных универсальных геоэкологических проблем является **загрязнение воздуха.** Фоновое загрязнение воздуха охватывает площади, соизмеримые с площадью континентов или всего мира. Оно связано с поллютантами, отличающимися относительно продолжительным временем жизни в атмосфере. К ним относятся парниковые газы, оксиды азота и серы и некоторые другие вещества. Рост их концентрации в атмосфере свидетельствует о том, что естественный экологический баланс нарушен и природная поглотительная емкость атмосферы исчерпана. На фоновое загрязнение воздуха наложены крупные пятна локального загрязнения. Это в основном проблема больших городов и крупных промышленных предприятий и узлов. Она возникла как одна из первых экологических проблем в промышленно развитых странах, где достигла своего пика приблизительно в 1960-х гг. С тех пор благодаря осуществляемым целенаправленным стратегиям качество воздуха в городах Западной Европы, Северной Америки и Японии в целом улучшилось.

Практически во всех больших городах развивающихся стран качество воздуха весьма низкое и продолжает ухудшаться. Это одна из важнейших проблем, влияющая на здоровье людей и состояние городских и пригородных экосистем.

Основными источниками загрязнения воздуха являются теплоэнергетика, черная и цветная металлургия, химическая промышленность, транспорт, нефте- и газопереработка. Каждый индустриальный источник загрязнения выделяет в воздух десятки тысяч веществ. По некоторым основным группам предприятий-загрязнителей они распределяются следующим образом: теплоэнергетика (оксиды углерода, серы и азота, пыль, металлы); транспорт (оксиды углерода и азота, углеводороды, тяжелые металлы); черная металлургия (пыль, диоксид серы, фтористые газы, металлы); нефтепереработка (углеводороды, сероводород, дурнопахнущие газы); производство цемента (пыль).

Последствия локального загрязнения воздуха столь же многообразны, как и загрязнители. По статистике, собранной в США, в городах с высоким загрязнением воздуха заболеваемость выше, чем в сельской местности на 15–17 %. Есть все основания полагать, что этот показатель для ряда городов СНГ еще хуже. В экосистемах городов и прилегающих территорий накапливаются вредные вещества (например, тяжелые металлы), а растительность трансформирована или угнетена. Радиус зоны вредных воздействий достигает не­скольких десятков километров.

Основными направлениями защиты воздушного бассейна являются: а) санитарно-технические мероприятия (строительство сверхвысоких труб, установка газопылеочистного оборудования, герметизация производственных процессов и др.). Основная масса очищаемых и улавливаемых веществ – твердые частицы; б) технологические мероприятия (внедрение малоотходных или безотходных технологий, соответствующая подготовка сырья, замена сухих технологических способов на мокрые и т. п.); в) пространственно-планировочные мероприятия (выделение санитарно-защитных зон, планировка городской и промышленной застройки в соответствии с преобладающими ветрами, озеленение и пр.); г) контрольно-запретительные мероприятия (введение величин предельно допустимых концентраций веществ и предельно допустимых выбросов в окружающую среду, запрещение производства отдельных веществ, временная приостановка загрязняющей деятельности, мониторинг загрязнения воздуха).