



§ 4. Геоэкологические особенности атмосферы



Вспоминаем. Что представляет собой атмосфера? Какое строение имеет атмосфера? Назовите основные метеорологические элементы.



Изучаем, чтобы знать. Почему важно знать, какие процессы происходят в атмосфере? Как атмосфера влияет на другие геосферы? Как погода и климат влияют на хозяйственную деятельность человека?

Общие геоэкологические особенности атмосферы. Атмосфера тесно взаимодействует со всеми геосферами (рис. 23). Благодаря геологическим и геохимическим процессам она получает из литосферы значительную часть газов. В то же время колебания температуры воздуха, ветер, осадки являются важнейшими факторами образования рельефа.

Между атмосферой и гидросферой происходит непрерывный обмен теплом и влагой. Мировой океан, наряду с зелёным покровом суши, выполняет функции «лёгких» нашей планеты. Он является активным поглотителем диоксида углерода, содержащегося в воздухе, местом обитания водорослей, вносящих большой вклад в снабжение атмосферы кислородом.

Защитные функции атмосферы. Атмосфера защищает органический мир Земли от воздействия ультрафиолетовой солнечной радиации, космических лучей различного происхождения. Оказывает благоприятное воздействие на климат Земли, предохраняя её от чрезмерного охлаждения и нагревания. В атмосфере формируются погодные условия, в которых живёт и работает человек (рис. 24).

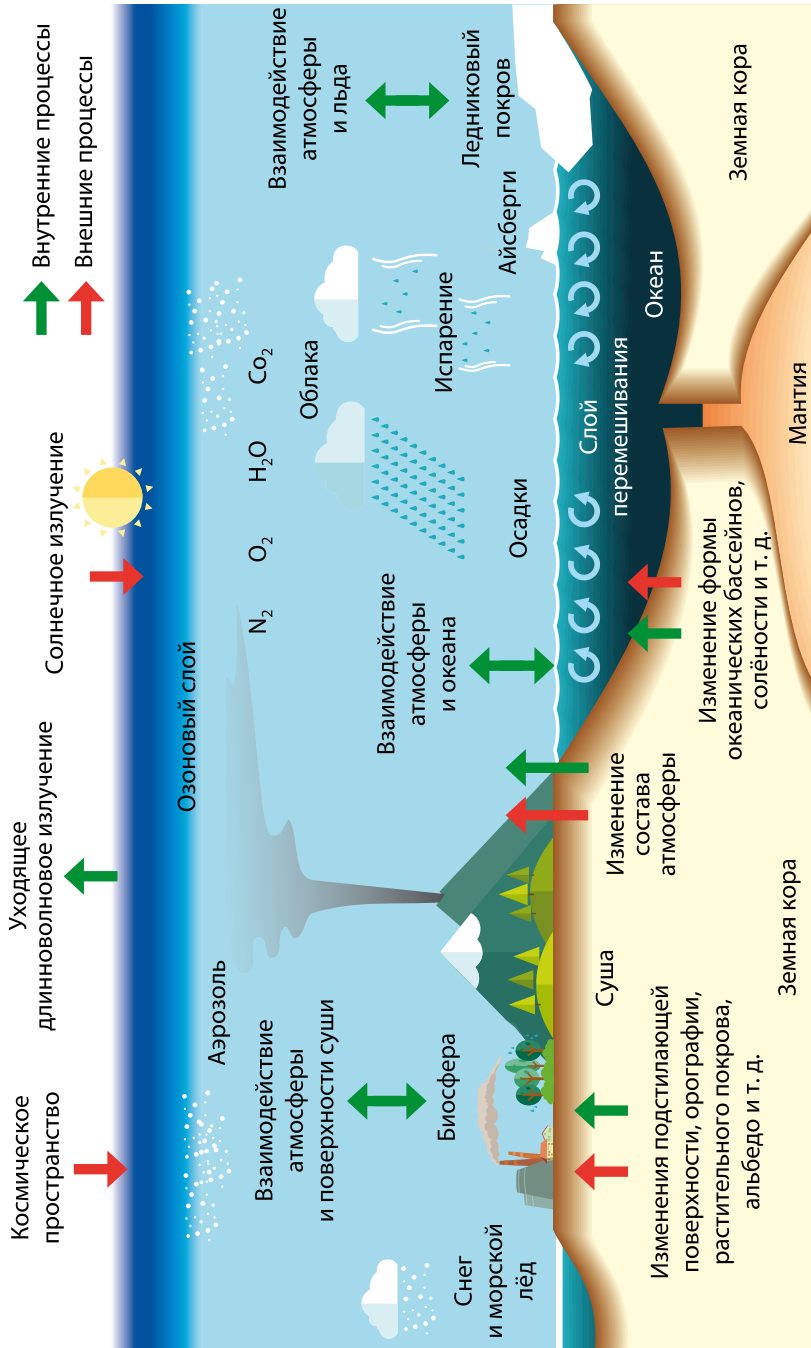


Рис. 23. Климатическая система, внешние воздействия, процессы и взаимодействия, формирующие климат

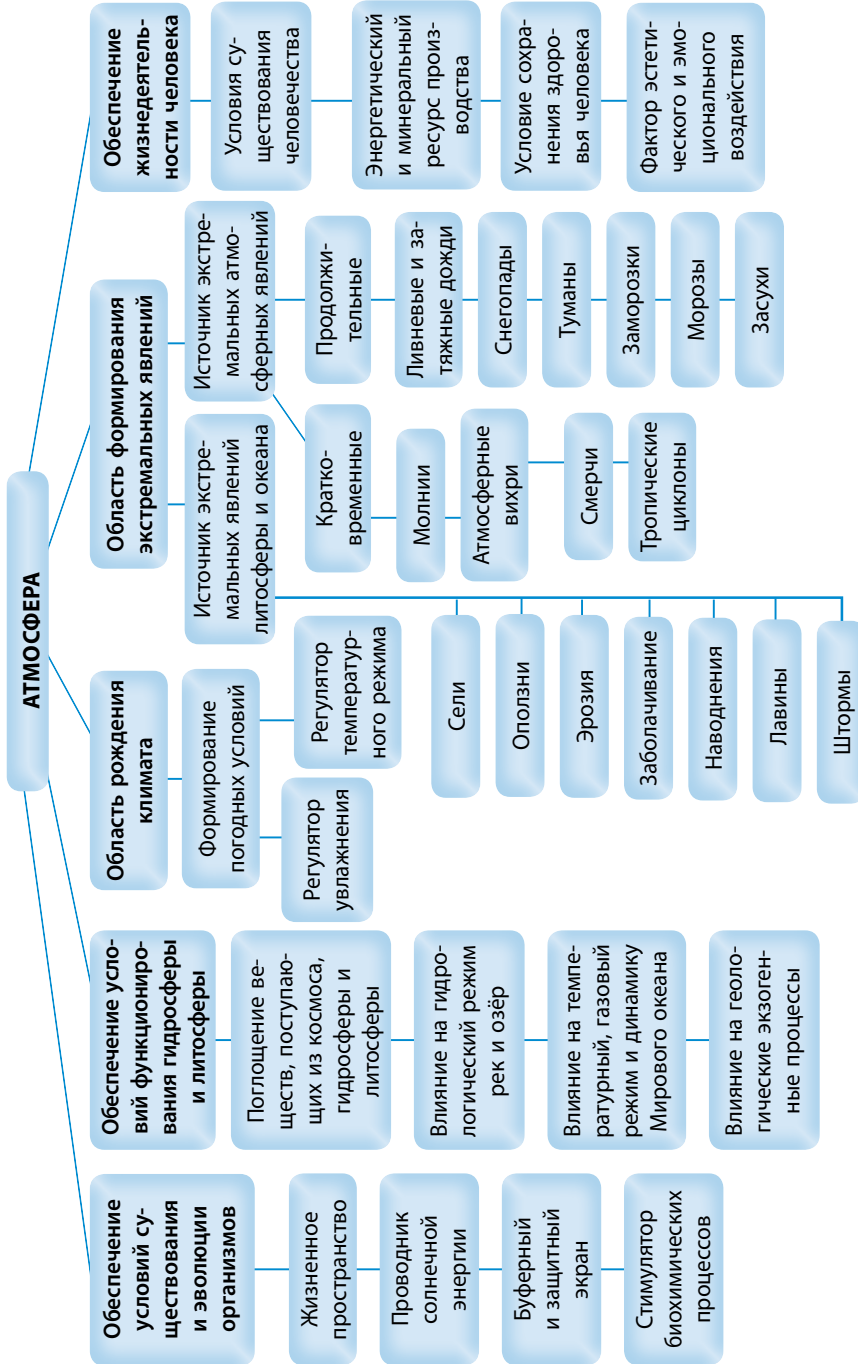


Рис. 24. Геоэкологические функции атмосферы



Клуб знатоков-географов. На долю тропосферы приходится около 80 % массы атмосферы, стратосферы — около 20 %; масса мезосферы — не более 0,3 %, термосферы — менее 0,05 % от общей массы атмосферы.

Значение атмосферы для человека и его хозяйственной деятельности.

Атмосфера оказывает влияние на организм человека и все сферы его хозяйственной деятельности. Изменение физических и химических свойств атмосферы может отрицательно сказаться на здоровье людей, их работоспособности и продолжительности жизни.



П1



Клуб знатоков-географов. Неблагоприятная для человека погода характеризуется очень высокой или очень низкой температурой, скоростью ветра более 9 м/с, продолжительностью тумана и дождя днём более 3 часов, сильными грозами, снегопадами, метелями и т. д. Ультрафиолетовая радиация обладает большой биологической активностью, сильным бактерицидным воздействием. Она приводит к улучшению состава крови и общему повышению тонуса человека. Умеренные дозы ультрафиолетовой радиации благоприятно влияют на человека, а чрезмерно малые или большие дозы могут привести к заболеваниям.

Климатические ресурсы. Их использование имеет особое значение для человека и различных видов его хозяйственной деятельности.



Климатические ресурсы — элементы климата, которые обеспечивают качество жизни человека и используются в его хозяйственной деятельности.

Солнечная энергия — самый крупный энергетический источник на Земле. Годовая солнечная радиация в 20 тыс. раз превышает современное мировое потребление энергии. Значительная часть солнечной энергии не доходит до земной поверхности, а отражается атмосферой. В результате поверхности суши и Мирового океана достигает радиация, измеряемая в 10^{14} кВт, или 10^5 млрд кВт·ч (0,16 кВт на 1 км^2 поверхности суши и Мирового океана). Но из-за низкой концентрации солнечной энергии только очень небольшая её часть может быть использована в практических целях (рис. 25).



П2



В мире всё взаимосвязано. Как солнечная энергия влияет на формирование рельефа и высотной природной зональности?

Воздух — это естественная смесь газов, составляющих атмосферу Земли. Из них для жизнедеятельности биоты наибольшее значение имеют кислород, азот и углекислый газ. Из атмосферного азота производят минеральные азотные удобрения, азотную кислоту и её соли. Аргон и азот применяются в металлургии,

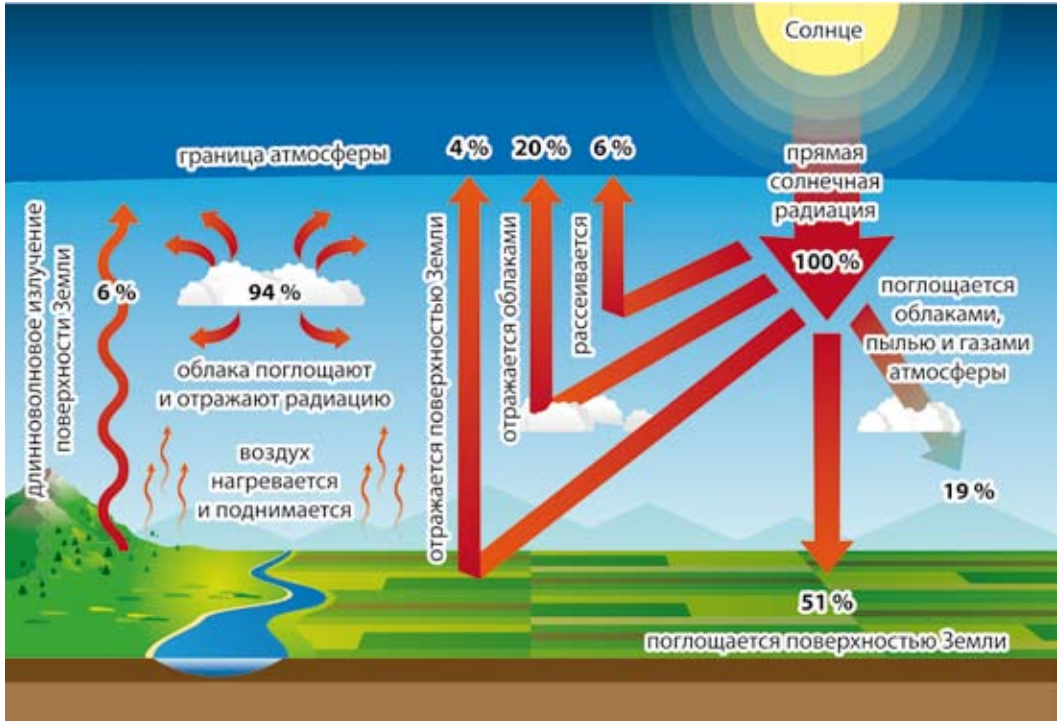


Рис. 25. Солнечная радиация

химической и нефтехимической промышленности (для осуществления ряда технологических процессов). Из атмосферного воздуха также получают кислород и водород.

Энергия ветра Земли составляет около 300 млрд кВт·ч в год. Для технического освоения пригодно только около 2 %. Главное препятствие — рассеянность и непостоянство энергии ветра. Для оценки эффективности её освоения используют такие показатели, как скорость ветра, его порывистость, вертикальный профиль, направление и др.



В мире всё взаимосвязано. Как человек в своей хозяйственной деятельности использует энергию ветра?

Сельское хозяйство в значительной степени зависит от погодных и климатических условий. *Агроклиматические ресурсы* являются одной из разновидностей климатических ресурсов. К ним относятся климатические параметры, влияющие на сельское хозяйство. В число таких факторов обычно входят свет, тепло, влага.





В мире всё взаимосвязано. Как климатические условия влияют на обеспечение населения продовольствием?

Для произрастания растений необходимы углекислый газ, кислород и фотосинтетически активная радиация (ФАР). За счёт поглощения ФАР в процессе фотосинтеза создаётся 90–95 % сухой массы растений.

Развитие растений происходит при определённой температуре. Количество тепла, необходимое растениям для полного завершения вегетации, называют суммой биологически активных температур (БАТ). Она рассчитывается как сумма среднесуточных значений температуры воздуха за те дни, когда воздух прогревался выше плюс 5 или 10 °С.



П4



Клуб знатоков-географов. Зная БАТ своего региона и минимальную необходимую БАТ для сельскохозяйственной культуры, можно сделать выводы о возможности её выращивания.

Влага представляет собой необходимое условие жизни всех живых организмов и сельскохозяйственных культур. Для характеристики обеспеченности растений водой широко используется гидротермический коэффициент (ГТК) — отношение суммы атмосферных осадков к сумме активных температур за определённый период времени, умноженное на 10 (рис. 26).



П5

Значение ГТК	≤0,3	0,3–0,5	0,5–0,7	0,7–1,0	1–1,5	≥1,5
Характеристика увлажнения	Очень сухо	Сухо	Засушливо	Недостаточное увлажнение	Достаточное увлажнение	Избыточное увлажнение

Рис. 26. Характеристика обеспеченности растений водой по ГТК



Клуб знатоков-географов. Если собрать всю воду, содержащуюся в атмосфере, то она образует на поверхности Земли слой около 2,0 см.



Поработаем с атласом. Определите с помощью карт атласа, как изменяется ГТК в разных природных зонах.

Климат влияет на водное и рыбное хозяйство через изменение гидрологического режима рек, уровня подземных вод, влажности почвы, количества льда в ледниках.

Влияние климатических факторов на энергетику происходит в результате изменения условий производства и потребления энергии, эксплуатации и содержания



энергетических систем. Наиболее чувствительными к климатическим факторам являются гидроэнергетика, а также альтернативная энергетика, основанная на использовании энергии солнца и ветра.

Климат — один из важных факторов в строительстве. Климатические условия определяют основные архитектурные, планировочные, гигиенические подходы к проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений. Они оказывают существенное влияние на долговечность зданий, режим их эксплуатации.

Погодные условия влияют на эксплуатацию наземного транспорта. Дожди, снегопады, гололёд, температурный режим определяют безопасность дорожного движения.



Мир и Беларусь. Приведите примеры положительного и отрицательного влияния погодных условий Беларуси на эксплуатацию наземного транспорта и безопасность дорожного движения.



Подведём итоги. Атмосфера тесно взаимодействует со всеми Погода и ... влияют на все сферы деятельности человека. Качество жизни человека, ведение сельского хозяйства и деятельность промышленности обеспечивают ... ресурсы. На ведение сельского хозяйства оказывают влияние климатические параметры: ..., ..., Погодные условия влияют на эксплуатацию наземного ... и безопасность ... движения.



Проверим свои знания. 1. Назовите основные геоэкологические функции атмосферы. 2. Как климатические ресурсы влияют на качество жизни человека? 3. Какие климатические факторы неблагоприятно воздействуют на организм человека?



От простого к сложному. 1. Как атмосфера взаимодействует с другими геосферами? Приведите конкретные примеры. 2. Почему для произрастания растений необходимы углекислый газ, кислород и определённая сумма БАТ? 3. Почему необходима согласованность действий метеорологической службы и коммунального хозяйства?



От теории к практике. 1. Как в Республике Беларусь используется энергия солнца и ветра? 2. К каким негативным последствиям могут привести чрезмерные дозы ультрафиолетовой радиации?



Web-ресурсы.

Гидрометцентр России. Занимательная метеорология.



Информационно-аналитический портал «GeoCenter.Info».
Атмосфера.



Сайт Всемирной метеорологической организации.



Информационно-аналитический портал «GeoCenter.Info».
Климат глазами очевидцев.



§ 5. Влияние деятельности человека на атмосферу



Вспоминаем. Чем климат отличается от погоды? Какие основные газы входят в состав атмосферного воздуха? Как влияет температура воздуха на содержание в нём водяного пара?



Изучаем, чтобы знать. Почему важно знать, как влияет человек на климат и погоду? Зачем изучать воздействие загрязнения воздуха на человека? Почему количество загрязняющих атмосферу веществ постоянно увеличивается?

Влияние деятельности человека на атмосферу, климат и погоду. Изменение энергетического и водного режимов, газового состава атмосферы и климата Земли происходит в результате крупномасштабных и локальных антропогенных преобразований природы: добычи полезных ископаемых, возникновения и развития городов, создания оросительных и других сельскохозяйственных систем, преобразования пастбищ, строительства водохранилищ и т. д.



Клуб знатоков-географов. Считается, что до середины XIX в. содержание кислорода в атмосфере было относительно стабильным. В наши дни только сжигание топлива приводит к расходованию 10 млрд т свободного кислорода в год. Легковой автомобиль на каждые 100 км пробега потребляет годовой кислородный «паёк» одного человека, а все автомобили забирают столько кислорода, сколько хватило бы для 5 млрд человек в течение года. За один трансатлантический рейс реактивный лайнер сжигает 35 т кислорода.

Все перечисленные изменения создают серьёзные геоэкологические проблемы. К ним относятся загрязнение атмосферы, нарушение естественного состояния озонового слоя, повышение кислотной реакции компонентов окружающей среды, антропогенное изменение климата.

Загрязнение атмосферы и его воздействие на биоту и человека. Антропогенное загрязнение атмосферы охватывает территорию всего мира. Оно связано с загрязняющими веществами, которые относительно продолжительное время находятся в атмосфере. Это парниковые газы, оксиды азота и серы и другие вещества. Рост концентрации загрязняющих веществ в атмосфере свидетельствует



о нарушении естественного экологического баланса и природной поглотительной способности атмосферы. Значительное влияние на загрязнение воздуха оказывают большие города и крупные промышленные предприятия.



Поработаем с атласом. Найдите на карте и назовите города, которые являются крупнейшими промышленными центрами мира.



В мире всё взаимосвязано. Как изменяется состояние биоты вблизи крупных городов и промышленных предприятий?



Мир и Беларусь. В Беларуси выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в 2019 г. составили 1201,9 тыс. т. Из них 775,8 тыс. т — от мобильных источников и 426,1 тыс. т. — от стационарных. Список городов с наибольшим количеством выбросов возглавляет Новополоцк.

Источники и важнейшие компоненты антропогенного загрязнения атмосферы. Основными антропогенными источниками загрязнения воздуха являются тепловые электростанции, чёрная и цветная металлургия, химическая, нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность, транспорт, производство строительных материалов и сельское хозяйство. Каждый индустриальный источник загрязнения выделяет в воздух десятки тысяч веществ.

Влияние тепловых электростанций на атмосферу в основном связано со сжиганием органического топлива (рис. 27). Во время этого процесса в воздух поступают сернистый и серный ангидриды, окислы азота, соединения ванадия, солей натрия, углекислый газ и другие газообразные и твёрдые вещества.



Рис. 27. Загрязнение воздуха при работе тепловой электростанции



Поразмышляем. Возможно ли полностью прекратить загрязнение атмосферы в результате хозяйственной деятельности человека?

Основные загрязняющие вещества металлургической промышленности — отходы и побочные продукты на предприятиях. В структуре жидких и газообразных выбросов предприятий чёрной металлургии преобладают оксиды углерода, составляющие около 78 % всех выбросов. На втором месте находятся оксиды серы, на третьем — оксиды азота. Немного меньше выбросы пылевых частиц, загрязнённых

тяжёлыми металлами. Среди тяжёлых металлов основными загрязнителями являются свинец, кадмий и ртуть.



Клуб знатоков-географов. Ежегодно предприятия цветной металлургии выбрасывают в атмосферу до 3 млн т вредных веществ. В основном это диоксид серы (75 % от суммарного выброса в атмосферу), оксиды углерода (10,5 %) и пыль (10,4 %).

Химическая промышленность объединяет предприятия, применяющие химические методы переработки веществ и выпускающие химические продукты. В зависимости от типа производства в атмосферу могут поступать оксиды азота, аммиак, оксид серы, сероводород, диоксид углерода, галогенпроизводные углеводороды, диоксиды и др. Также в атмосферу попадают аэрозоли, содержащие тяжёлые металлы, различные органические и неорганические вещества.

В результате работы предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности в атмосферный воздух поступает более 200 видов загрязняющих веществ (рис. 28). Они включают опасные канцерогенные вещества: бензапирен, формальдегид, бензол, этилбензол, хром, свинец, никель и кадмий и другие.



Клуб знатоков-географов. Степень и дальность загрязнения атмосферного воздуха находится в прямой зависимости от объёма перерабатываемой нефти и размеров потерь нефтепродуктов. Загрязнение углеводородами, сероводородом и сернистым ангидридом вокруг НПЗ, перерабатывающих до 3 млн т нефти в год, достигает, как правило, километровой зоны. Увеличение объёма переработки нефти в 3–4 раза увеличивает дальность рассеивания до 5 км.

Автомобили и другие транспортные средства относятся к мобильным источникам загрязнения. Они во многом определяют уровень загрязнения атмосферы городов. В состав автомобильных выхлопных газов входит около 200 химических веществ (рис. 29). Среди них оксид углерода, летучие органические вещества, оксиды



Рис. 28. Загрязнение воздуха при работе нефтеперерабатывающего завода



Рис. 29. Загрязнение воздуха в городе от выхлопных газов автомобилей

азота, углекислый газ, взвешенные вещества. При истирании тормозных колодок в воздух попадают медь, ванадий, молибден, никель, хром. При износе покрышек — кадмий, свинец, цинк. Транспорт также является источником пыли, которая возникает при разрушении дорожных покрытий и истирании шин. Количество вредных веществ, поступающих в атмосферу, зависит от типа двигателя, режима его работы и технического состояния автомобиля.

При производстве строительных материалов основными источниками поступления в атмосферу твёрдых частиц являются цементные и керамические заводы, карьеры, предприятия по производству извести, кирпича, асфальта и изоляционных материалов. В частности, при производстве цемента и извести твёрдые частицы включают карбонат кальция, оксид кальция, шлак, цемент, глину, уголь и др. При производстве кирпича и стекла — соединения фтора, диоксида серы и оксидов азота.

Сельскохозяйственными источниками загрязнения атмосферы являются животноводческие и птицеводческие комплексы, энергетические предприятия, удобрения и пестициды. В атмосферу в основном поступает аммиак, сероуглерод и мелкозернистые аэрозольные частицы.

Загрязнение атмосферного воздуха является одной из основных проблем экологического состояния окружающей среды. Оно непосредственно воздействует на биоту, снижает продуктивность экосистем, нарушает их способность к самовосстановлению, ухудшает здоровье людей.



Клуб знатоков-географов. По статистике, собранной в США, в городах с высоким загрязнением воздуха заболеваемость выше, чем в сельской местности, на 15–17 %. В экосистемах городов и прилегающих территорий накапливаются вредные вещества (например, тяжёлые металлы), а растительность трансформирована или угнетена. Радиус зоны вредных воздействий достигает нескольких десятков километров.

В список загрязняющих веществ, приоритетных для мониторинга атмосферного воздуха на фоновых станциях, входят взвешенные частицы, озон, оксиды и диоксиды углерода и азота, углеводороды, фреоны, тяжёлые металлы, органические соединения хлора и др.



Мир и Беларусь. Мониторинг атмосферного воздуха в Беларуси проводится в 19 городах и на станции фонового мониторинга, расположенной в Березинском заповеднике. Всего же в нашей стране 66 станций, в том числе 16 автоматических. Регулярными наблюдениями охвачена территория, на которой проживает 87 % населения крупных и средних городов Беларуси. Назовите самые загрязнённые города Беларуси.

Особый риск для здоровья человека представляют твёрдые частицы, двуокиси серы и азота, приземной озон. Высокая концентрация этих веществ отмечается в городских районах стран с низким и средним уровнем жизни населения.



Клуб знатоков-географов. По данным Всемирной организации здравоохранения, в 2016 г. загрязнение атмосферного воздуха в городах и сельских районах привело в мире к 4,2 млн случаев преждевременной смерти. 91 % этих случаев приходится на страны с низким и средним уровнем жизни населения. Около 58 % случаев преждевременной смерти, связанной с загрязнением атмосферного воздуха, произошли в результате ишемической болезни сердца и инсульта, 18 % — в результате хронической болезни лёгких или острых инфекций нижних дыхательных путей и 6 % — в результате рака лёгких.

Твёрдые частицы оказывают негативное воздействие на большее число людей, чем какой-либо другой загрязнитель воздуха. Основными их компонентами являются сульфаты, нитраты, аммиак, хлористый натрий, сажа, минеральная пыль и вода. Они находятся в воздухе в виде сложной смеси твёрдых и жидких органических и неорганических веществ. Постоянное воздействие твёрдых частиц приводит к развитию сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний, а также рака лёгких.

Двуокись серы воздействует на дыхательную систему и функции лёгких, вызывает раздражение глаз. Воспаление дыхательных путей приводит к появлению кашля, выделению слизи, обострению астмы и развитию хронического бронхита, делает людей более подверженными инфекциям дыхательных путей. В дни с повышенным уровнем концентрации двуокиси серы возрастает число случаев госпитализации с болезнями сердца и смертность.

Взаимодействие оксидов азота с сернистым ангидридом, кислородом, углеводородами обуславливает фотохимическое загрязнение атмосферы. При длительном воздействии диоксида азота у людей, страдающих астмой, усиливаются симптомы болезни, ухудшаются функции лёгких.

Кроме озона, образующего защитный слой в атмосфере на высоте от 12 до 50 км, в воздухе около поверхности Земли наблюдается приземный озон. Он образуется в результате химических реакций между оксидами азота и летучими органическими соединениями в присутствии солнечного излучения. Основными источниками оксидов азота и летучих органических соединений являются выбросы промышленных предприятий, тепловых электростанций и автотранспорта. Самый высокий уровень загрязнения воздуха приземным озоном отмечается в солнечную погоду. Приземный озон — опасный загрязнитель воздуха. Это один из главных компонентов городского смога. Содержащийся в воздухе в избыточном количестве озон может привести у человека к появлению проблем с дыханием, спровоцировать астму и вызвать болезни лёгких. Он повреждает посевы сельскохозяйственных культур, деревья и другую растительность.



Подведём итоги. Значительное влияние на загрязнение воздуха оказывают большие ... и крупные Влияние тепловых электростанций на атмосферу в основном связано со сжиганием В структуре ... и ... выбросов предприятий чёрной металлургии преобладают Особый риск для здоровья человека представляют ... , двуокись ... и ...,



Проверим свои знания. 1. Назовите основные источники антропогенного загрязнения атмосферного воздуха. 2. Как и чем загрязняет воздух автотранспорт? 3. Какие загрязняющие воздух вещества наиболее опасны для человека?



От простого к сложному. 1. Какие источники загрязнения в большей степени влияют на качество воздуха в городах? 2. Как загрязняющие воздух вещества влияют на организм человека?



От теории к практике. 1. Какие антропогенные источники загрязнения воздуха характерны для вашей местности? 2. Какие мероприятия проводятся для снижения их негативного воздействия?



Web-ресурсы.

Всемирный фонд природы. Климат и энергия.



Европейское агентство окружающей среды. Загрязнение воздуха.



Международный союз охраны природы.
Изменение климата.



Универсальная научно-популярная онлайн-энциклопедия
«Кругосвет».



§ 6. Антропогенное изменение климата



Вспоминаем. Как происходит нагревание воздуха? Как образуются атмосферные осадки? Какую роль играют газы в атмосфере?



Изучаем, чтобы знать. Какое значение имеет парниковый эффект для человека и его хозяйственной деятельности? Почему важно сохранить озоновый слой в атмосфере Земли? К каким последствиям может привести локальное загрязнение воздуха?

Проблема парникового эффекта. Земля находится в состоянии теплового равновесия. Средние годовые температуры земной поверхности и атмосферы в любой точке Земли мало меняются от года к году. Это означает, что на верхней

границе атмосферы солнечная радиация уравнивается излучением Земли. Но не всё излучение Земли уходит в космическое пространство. Его значительная часть поглощается находящимися в атмосфере водяным паром и парниковыми газами. В результате естественного парникового эффекта средняя температура поверхности Земли равна $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$, а без парникового эффекта она была бы $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Парниковый эффект — нагрев нижних слоёв атмосферы, вызванный поглощением теплового излучения земной поверхности содержащимися в тропосфере парниковыми газами.



Рис. 30. Воздействие парникового эффекта на природные процессы и его геоэкологические последствия

Явление естественного парникового эффекта позволяет поддерживать на поверхности Земли температуру, при которой стало возможным возникновение и развитие жизни. Это было обусловлено естественными изменениями климата в последние несколько миллионов лет. Физические процессы, из-за которых парниковые газы могут повысить температуру воздуха, известны с конца XIX в. Но до недавнего времени антропогенным парниковым газам придавалось мало значения. До конца 70-х гг. XX в. учёные предполагали, что в будущем Землю ожидает новый ледниковый период. Причём антропогенные выбросы парниковых газов замедлят этот процесс, но вряд ли изменят его. Но в конце XX в. влияние человека на ход природных процессов значительно возросло. Антропогенное увеличение концентрации парниковых газов приводит к повышению температуры поверхности Земли, изменению климата и негативным геоэкологическим последствиям (рис. 30).

К парниковым газам относят диоксид углерода, метан, хлорфторуглероды (ХФУ), оксид азота, озон и прочие газы (рис. 31).



Клуб знатоков-географов. Примерно 65 % антропогенных выбросов углекислого газа в атмосферу связано со сжиганием ископаемого топлива (нефти, газа, угля и др.) и 35 % — с уменьшением его поглощения, вызванного освоением новых земель и массовой вырубкой лесов. При этом примерно 45 % от общего количества выбросов углекислого газа остаётся в атмосфере, 30 % — поглощается океаном, а остальная часть усваивается биосферой.



Поработаем с атласом. Проанализируйте с помощью карт атласа пространственное распределение объёмов выбросов диоксида углерода по странам мира.



Рис. 31. Доля газов в парниковом эффекте, %

При современном уровне выбросов *диоксида углерода* концентрация его в атмосфере будет постоянно увеличиваться (рис. 32). *Метан* играет заметную роль в парниковом эффекте. 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* в суммарном парниковом эффекте небольшая. Но его концентрация в атмосфере также увеличивается. *Хлорфторуглероды* — это вещества, синтезируемые человеком и содержащие хлор, фтор и бром. В настоящее время производство ХФУ в мире контролируется международными соглашениями по защите озонового слоя. В результате их концентрация в атмосфере начала сокращаться. *Озон* — парниковый газ, находящийся как в стратосфере, так и в тропосфере. Но определить его значение в парниковом



Рис. 32. Круговорот диоксида углерода



П1

эфекте сложнее по сравнению с другими газами, так как территориальное распределение этого газа очень изменчиво.



Клуб знатоков-географов. Если выбросы парниковых газов будут расти так же, как в настоящее время, то к 2030 г. глобальная температура может повыситься на 1 °С, а к концу столетия — на 3°С.

Проблема деградации озонового слоя. Озоновый слой образовался в атмосфере Земли 1,85–0,85 млрд лет назад, когда в ней вследствие фотосинтеза накопилось достаточно кислорода. Только после образования озонового слоя биота смогла распространиться из океанов на сушу. Без него высокоразвитые формы жизни, включая человека, не могли возникнуть.

Озоновый слой отличается значительной изменчивостью во времени и по территории. Это обусловлено колебанием солнечной радиации, циркуляцией

атмосферы и антропогенным воздействием. В тропосфере на высоте 15–30 км существует озоновый слой, в котором концентрация озона максимальна. При нормальном приземном давлении весь атмосферный озон образовал бы слой всего 3 мм толщиной. Даже при столь малой мощности озоновый слой в стратосфере играет очень важную роль, защищая живые организмы Земли от вредного воздействия ультрафиолетовой радиации Солнца.



В мире всё взаимосвязано. С воздействием жёсткой ультрафиолетовой радиации связаны неизлечимые формы рака кожи, болезни глаз, иммунной системы людей, нарушения жизнедеятельности планктона в океане, снижение урожая зерновых культур и другие геоэкологические последствия.

Большой интерес к озону возник в 1970-х гг. В это время были обнаружены антропогенные изменения содержания озона. Они были связаны с выбросом в атмосферу оксидов азота при атомных взрывах, полётах самолётов в стратосфере, использовании минеральных удобрений и сжигании топлива.



Клуб знатоков-географов. В 1984 г. учёные обнаружили озоновую дыру сначала над Антарктидой (рис. 33), а затем и над Арктикой.

Её появление на Южном полюсе в конце зимы и начале весны было вызвано воздействием трёх факторов. Первый — блокирование обмена воздухом между полярными и южными широтами. Второй — разрушение озона при особо низких, $-85...-75$ °С температурах. Третий — разрушение озона в химических реакциях с участием атомов хлора и брома. Содержание последних в стратосфере в 1970–1980-х гг. выросло в 6–8 раз.

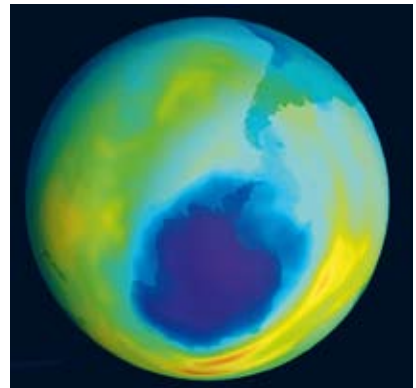


Рис. 33. Озоновая дыра над Антарктидой

Наиболее мощным антропогенным фактором, негативно влияющим на озоновый слой, является выброс в атмосферу ХФУ. Они широко используются при производстве холодильников и кондиционеров, аэрозольных упаковок. Значительно разрушают озон различные соединения брома, которые также являются продуктом человеческой деятельности. Они попадают в атмосферу в результате сельскохозяйственного производства, при сжигании биомассы, работе двигателей внутреннего сгорания и т. д.

Общая оценка влияния деятельности человека на озоновый слой показывает, что в ближайшие годы будет продолжаться его непрерывное истощение. Так, в 1973 г. концентрация озона в атмосфере уменьшилась на 0,5–1 %,

в 2000 г. — 3–4 %, а к 2050 г. ожидается уменьшение озона на 10 %. В связи с его исключительной важностью для сохранения жизни на Земле в 1985 г. в Вене была принята Конвенция по охране озонового слоя. В 1987 г. был подписан Монреальский протокол по запрещению выбросов веществ, разрушающих озон, в атмосферу. Его конечная цель — прекращение выпуска и применения озоноразрушающих веществ с заменой их на менее вредные. Генеральная ассамблея ООН в декабре 1994 г. приняла решение объявить 16 сентября Международным днём охраны озонового слоя Земли.



Клуб знатоков-географов. В 2017 г. Монреальский протокол отметил своё 30-летие и был признан единственным успешным международным соглашением в области экологии и климата. В него вошли практически все страны — члены ООН.



Поразмышляем. Что мешает прекратить антропогенное влияние на деградацию озонового слоя?

Проблема выпадения кислотных осадков. В естественных условиях атмосферные осадки имеют нейтральную или слабокислую реакцию ($\text{pH} \geq 7$). Кислотные осадки ($\text{pH} < 7$) бывают двух типов. *Сухие*, которые обычно выпадают вблизи источника их поступления в атмосферу, и *влажные* (дождь, снег и пр.), распространяющиеся на большие расстояния.



Клуб знатоков-географов. Термин «кислотный дождь» был введён в 1872 г. шотландским химиком Робертом Ангусом Смитом. Он исследовал состав дождевой воды вблизи крупных промышленных городов Англии. Итогом его трудов стала книга «Воздух и дождь: начало химической климатологии».

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 причины их возникновения — извержения вулканов, лесные пожары, разрушение почв ветром и др. Причинами антропогенных кислотных осадков является сжигание горючих ископаемых, главным образом угля, на тепловых электростанциях, в котельных, в металлургии, нефтехимической промышленности, на транспорте и пр. (рис. 34).



Клуб знатоков-географов. Антирекорд кислотных осадков для США составляет $\text{pH} 2,83$ (этот показатель был зафиксирован над Великими озёрами в 1982 г.), а для Европы — $\text{pH} 2,4$. Такой дождь, больше напоминающий столовый уксус, выпал в шотландском городке Питлохи в 1974 г.

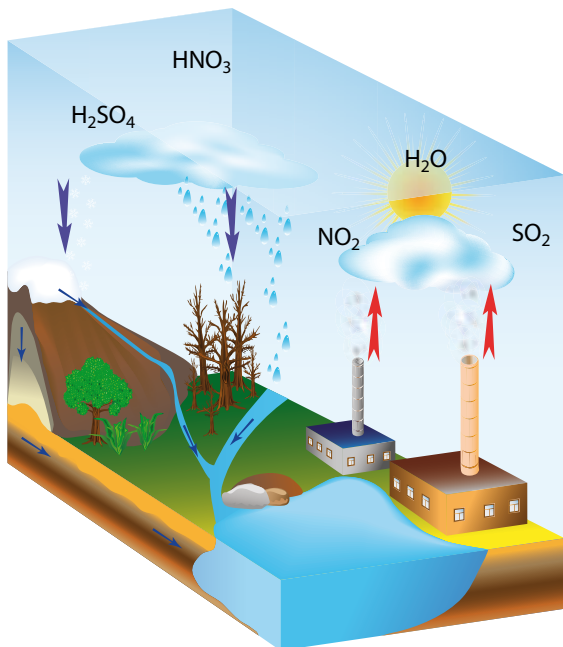


Рис. 34. Схема образования кислотных осадков и их воздействия на окружающую среду

населения мира, а в атмосферу поступает примерно 70 % общемирового объёма веществ, образующих антропогенные кислотные осадки. Следует отметить, что роль развивающихся стран в распространении кислотных осадков постоянно увеличивается.

Основной путь снижения кислотных осадков — применение технологических приёмов, уменьшающих выбросы оксидов серы и азота. Это промывка измельчённого угля перед его сжиганием, понижение температуры его сжигания, извлечение серы из отходящих газов и т. п. *Другой путь* — экономия при использовании энергии.



В мире всё взаимосвязано. Какие климатические и географические факторы способствуют формированию, перемещению и выпадению кислотных осадков?

Кислотные осадки переносятся на значительные расстояния, поэтому борьба с ними должна осуществляться на международном уровне. С этой целью в 1979 г. была принята европейская (с участием США и Канады) Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. Благодаря выполнению её положений достигнуты значительные успехи в снижении кислотной реакции компонентов окружающей среды.



Мир и Беларусь. Могут ли в Беларуси выпадать кислотные осадки?

Локальное загрязнение воздуха. Это в основном экологическая проблема больших городов и крупных промышленных предприятий, которая возникла одной из первых в промышленно развитых странах. Наибольшего масштаба эта проблема достигла приблизительно в 1960-х гг. С тех пор благодаря осуществляемым целенаправленным мероприятиям качество воздуха в городах Западной Европы, Северной Америки и Японии улучшилось. Но во всех больших городах развивающихся стран качество воздуха низкое и продолжает ухудшаться. В этих странах население использует различные виды топлива для приготовления пищи, обогрева помещений или освещения. В результате происходит дополнительное загрязнение воздуха. Это один из важнейших факторов, влияющих на здоровье людей и состояние городских и пригородных экосистем. Загрязнение воздуха повышает риск развития острых инфекций нижних дыхательных путей, сердечно-сосудистых заболеваний, хронических болезней лёгких и рака лёгких.



Подведём итоги. Земля находится в состоянии ... равновесия. ... эффект — нагрев нижних слоёв атмосферы, вызванный поглощением ... излучения земной поверхности содержащимися в тропосфере ... газами. К парниковым газам относят, метан, ...,, ... и прочие газы. Только после образования биота смогла распространиться из ... на сушу. В естественных условиях атмосферные осадки обычно имеют ... или ... реакцию. Локальное ... воздуха в основном экологическая проблема больших ... и крупных



Проверим свои знания. 1. Какие газы создают парниковый эффект? 2. На какой высоте в атмосфере максимальная концентрация озона? 3. Как кислотные осадки влияют на окружающую среду?



От простого к сложному. 1. Как парниковый эффект влияет на климат Земли? 2. Какие вещества антропогенного происхождения в наибольшей степени разрушают озоновый слой Земли? 3. Как кислотные осадки влияют на хозяйственную деятельность человека?



От теории к практике. Представьте, что вам необходимо разработать план действий по предотвращению разрушения озонового слоя. Какие предложения вы в него включите?

**Web-ресурсы.**

Климатический центр Росгидромета.



Информационно-аналитический портал «GeoCenter.Info».

Климат глазами очевидцев.



Сайт ООН. Конвенции и соглашения по климату.



Всемирный фонд природы. Климатический кризис.



Европейское агентство окружающей среды.

Адаптация к изменению климата.



Сайт Всемирной метеорологической организации.



§ 7. Возможные причины и последствия изменения климата



Вспоминаем. Назовите основные климатообразующие процессы. Какие географические факторы влияют на климат? Какое значение для формирования погоды и климата имеет Мировой океан?



Изучаем, чтобы знать. Почему проблеме изменения климата на Земле уделяется большое внимание? Как изменялся климат на Земле до и после появления человека? Какие глобальные и региональные изменения климата могут произойти в XXI в.?

Основные причины изменения климата. Климат Земли меняется в течение десятилетий, столетий и тысячелетий. Это обусловлено изменениями положения и движения Земли в Солнечной системе, светимости Солнца, параметров орбиты и скорости вращения Земли вокруг оси, размеров и взаимного расположения материков и океанов, влиянием вулканической активности на прозрачность атмосферы, её состав и воздействием других природных факторов.



В мире всё взаимосвязано. Как на климат может повлиять изменение параметров орбиты Земли и скорости её вращения вокруг оси?



Изменение климата — долгосрочные изменения средних многолетних показателей климата Земли в целом или её отдельных регионов, вызываемые природными процессами и деятельностью человека.



Клуб знатоков-географов. Извержения вулканов — нерегулярный, но существенный фактор образования высокой концентрации аэрозольных частиц, вызывающих рассеивание солнечной радиации, что приводит к похолоданию. Катастрофический взрыв вулкана Тамбора в 1815 г. в Индонезии привёл к снижению температуры воздуха во всём мире в течение трёх последующих лет. Извержение вулкана Пинатубо на Филиппинах в 1991 г., сопровождавшееся значительным объёмом выбросов пепла, с климатологической точки зрения — важнейшее извержение века (рис. 35). В течение двух лет после его извержения температура воздуха понижалась и отклонение средней мировой глобальной температуры в 1992 г. составляло минус 0,4–0,6 °С. Таким образом, воздействие лишь одного извержения было сравнимо с глобальным парниковым эффектом за текущее столетие.



Рис. 35. Выброс пепла при извержении вулкана Пинатубо, Филиппины

Влияние антропогенного воздействия на изменение климата. Особенно быстрые изменения климата происходят с середины прошлого века. В значительной степени они вызваны *хозяйственной деятельностью человека*. Загрязнение атмосферы в результате сжигания ископаемого органического топлива, промышленной и сельскохозяйственной деятельности приводят к усилению парникового эффекта. Преобразование естественных ландшафтов, уничтожение лесов, распахивание огромных массивов вызывают изменение отражательной способности Земли и газового состава атмосферного воздуха.



Поразмышляем. Как вы считаете, что оказывает большее влияние на изменение климата: природные факторы или хозяйственная деятельность человека?

Геоэкологические последствия возможных изменений климата. Ожидаемые изменения климата обычно оцениваются на основе глобальных моделей циркуляции атмосферы. Качество оценки постоянно улучшается по мере совершенствования технических возможностей компьютеров и накопления новых данных наблюдений за погодой. Однако точность моделей всё ещё не высокая даже для расчётов на глобальном уровне. Кроме того, необходимо иметь в виду возможные

изменения в хозяйственной деятельности человека. Все эти обстоятельства учитываются при составлении различных сценариев.

Существуют два сценария повышения средней мировой температуры приземного слоя воздуха за период с 1990 по 2100 г. Первый предусматривает значительное сокращение выбросов парниковых газов и повышение температуры всего на 1 °С. Второй сценарий основан на увеличении уровня выбросов парниковых газов и предполагает повышение температуры на 3,5 °С. В любом варианте потепление будет значительнее, чем все колебания климата в течение последних 10 000 лет (рис. 36).

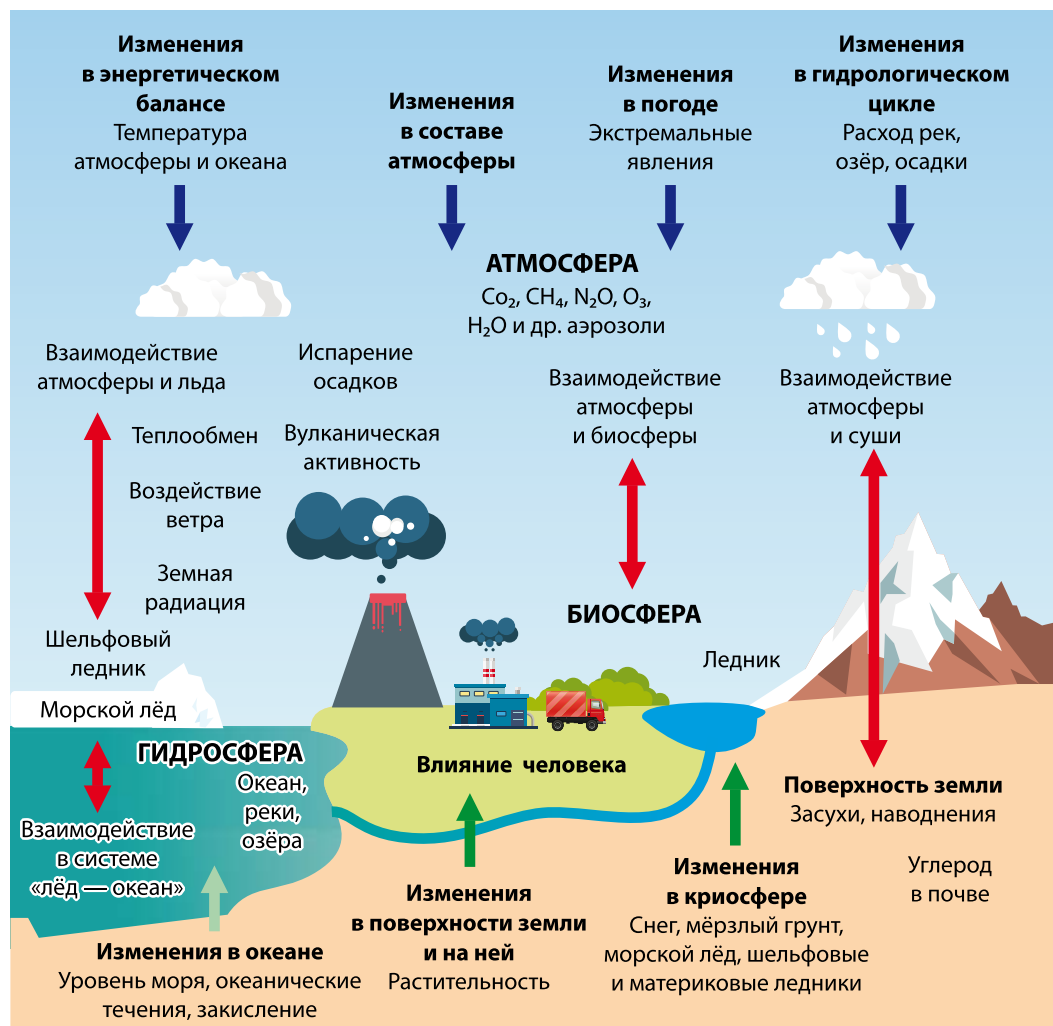


Рис. 36. Причины и следствия изменения климата



Мир и Беларусь. В течение последних десятилетий в Беларуси наблюдается устойчивое потепление климата. Количество атмосферных осадков существенно не изменилось. Выросло количество неблагоприятных погодных явлений. 2019 г. был самым тёплым за весь предыдущий период метеонаблюдений. В 2020 г. средняя температура января и февраля превысила норму на 7 °С. Климатическая зима в Беларуси в сезоне 2019–2020 г. не наступила. Эта зима войдёт в историю страны как зима, которой не было.

Рост температуры воздуха будет сопровождаться увеличением количества осадков. Колебания уровня осадков будут находиться в пределах от –35 % до +50 %. При этом относительно небольшие изменения средних показателей климата будут сопровождаться увеличением частоты редких катастрофических событий, таких как тропические циклоны, штормы, засухи, экстремальные температуры воздуха и пр.



П1



Экстремальные климатические явления — совокупность климатических явлений, создающих проблемы для хозяйственной деятельности и жизни человека.

Согласно данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC), можно ожидать следующие последствия изменения климата.

Изменения ландшафтов суши. В средних широтах повышение температуры на 1–3,5 °С будет эквивалентно смещению изотерм на 150–550 км по широте в сторону полюсов или на 150–550 м по высоте. Соответственно начнётся перемещение растений и животных. Скорость изменений климата будет выше, чем способность некоторых видов приспосабливаться к новым условиям. Ряд видов может быть потерян. Могут исчезнуть некоторые типы лесов. Леса умеренного пояса потеряют часть деревьев. Экосистемы не будут передвигаться вслед за климатическими условиями как единое целое. Их компоненты будут перемещаться с различной скоростью. В результате этого сформируются новые комбинации видов, возникнут новые экосистемы.

Приспособление экосистем к новым климатическим условиям, связанное с миграцией видов, будет осложняться антропогенными препятствиями. Такими как сельскохозяйственные угодья, населённые пункты, дороги и пр. Наибольшие изменения произойдут в арктическом и субарктическом поясах. Сократится площадь морских льдов, горных и небольших покровных ледников. Уменьшатся глубина и распространение многолетней мерзлоты, площадь и продолжительность залегания сезонного снежного покрова.



Мир и Беларусь. Какие из ожидаемых изменений климата на территории Беларуси являются наиболее неблагоприятными для развития лесного хозяйства страны? Какие меры необходимо предпринять, чтобы сохранить леса, разнообразие их флоры и фауны?

Частичная деградация многолетней и сезонной мерзлоты повлияет на увеличение выбросов углекислого газа и метана в атмосферу. От трети до половины массы горных ледников Земли растает. Ледниковые покровы Антарктики и Гренландии в ближайшие сто лет существенно не изменятся. Пустыни станут ещё суше вследствие значительного повышения температуры воздуха.



Поработаем с атласом. Найдите на карте основные регионы распространения многолетней мерзлоты и горного оледенения.

Мировой океан. Изменение климата может также воздействовать на циркуляцию вод океана. Это приведёт к изменению биологической продуктивности, структуры и функции морских экосистем.

Начиная с XX в. происходил постоянный рост среднего уровня Мирового океана, который составил 10–25 см. Этот процесс будет продолжаться и в дальнейшем за счёт талых вод Гренландского, а затем и Антарктического ледниковых щитов (рис. 37). При повышении температуры приземного слоя воздуха на 1 и 3,5 °C уровень Мирового океана к 2100 г. поднимется соответственно на 0,3 и 1,1 м. Уровень океана будет продолжать расти в течение нескольких столетий после 2100 г., даже если концентрация парниковых газов стабилизируется.

Рост уровня океана приведёт к затоплению низкорасположенных территорий, разрушению берегов и сооружений, находящихся на них; увеличению солёности



Рис. 37. Таяние льдов в Антарктиде

подземных вод и воды в устьях рек; изменению условий перемещения наносов и растворённых веществ и др. Последствия изменения климата усилят уже существующие геоэкологические проблемы прибрежной зоны, где живёт более половины человечества. Могут возникнуть значительные миграции населения, что вызовет серьёзные экономические и политические последствия.



Поработаем с атласом. Найдите на карте страны, которые больше всего пострадают от изменения уровня Мирового океана.

Водные ресурсы суши. Климат и его изменение оказывают влияние на гидрологический режим водных объектов, использование, локальное и глобальное перераспределение водных ресурсов; работу водохозяйственных систем; поиск новых водных ресурсов и обоснование строительства гидротехнических сооружений.



Клуб знатоков-географов. Льды в Гималаях тают со скоростью 10–15 м в год. При нынешней скорости этого процесса две трети ледников исчезнут к 2060 г., а к 2100 г. все ледники растают окончательно. Ускоренное таяние ледников на Земле создаёт непосредственную угрозу развитию человечества. Для густонаселённых горных и предгорных территорий особую опасность представляют лавины, затопление или, наоборот, снижение полноводности рек и, как следствие, сокращение запасов пресной воды.

Изменение климата приведёт к ускорению глобального круговорота воды, его заметным региональным переменам и возможному уменьшению годового стока на 40–70 %. Потребуются значительные капиталовложения для приспособления водохозяйственных систем к новым условиям. Особенно серьёзные проблемы возникнут там, где сейчас большое водопотребление или вода сильно загрязнена.



Мир и Беларусь. Как изменение климата может повлиять на гидрологический режим рек в Беларуси?

Сельское хозяйство. Изменение климата окажет неоднозначное воздействие на сельское хозяйство. Зависимость продуктивности сельскохозяйственных культур от изменений климата определяется географическим районом. Вследствие увеличения концентрации углекислого газа повышается эффективность фотосинтеза сельскохозяйственных культур. В районах, где земледелие лимитируется притоком тепла, можно ожидать повышение урожая. В аридных районах, где мало доступной для растений влаги, изменение климата отразится неблагоприятным образом. Потребители воды для орошения будут серьёзно конкурировать с другими потребителями водных ресурсов — промышленностью и коммунальным водоснабжением.

Более высокие температуры воздуха будут способствовать ускорению естественного разложения органического вещества почвы и снижать её плодородие. Увеличится вероятность распространения вредителей и болезней растений.

Потепление климата повлияет на животноводство. Производство мяса и молока увеличится в тёплые зимние сезоны и уменьшится в тёплые летние сезоны.



В мире всё взаимосвязано. В связи с потеплением климата в сельском хозяйстве Беларуси увеличиваются площади под возделывание кукурузы. Возможно расширение посевов подсолнечника, фасоли и сои. Планируется даже выращивание арбузов, дынь и винограда. Отрицательные последствия потепления выражаются в увеличении летом числа засушливых периодов, что снижает урожайность некоторых сельскохозяйственных культур.

В целом ожидается, что общемировой уровень производства продуктов сельского хозяйства может быть сохранён, но его региональные значения будут колебаться в широких пределах. В развивающихся странах возрастёт риск голода. Общая картина мировой торговли продуктами сельского хозяйства может существенно измениться.



Мир и Беларусь. Какие из ожидаемых изменений климата являются наиболее негативными для развития сельского хозяйства на территории Беларуси?

Энергетика. Изменение климата в большей степени отразится на гидроэнергетике и использовании возобновляемых источников энергии (рис. 38). Возобновляемые энергоресурсы зависят от климатических условий даже при самом благоприятном развитии технологии их получения. В настоящее время роль возобновляемых источников в общем энергетическом балансе небольшая, но имеет тенденцию к увеличению.



Рис. 38. Солнечные панели и ветроэнергетические установки



Клуб знатоков-географов. Во Франции в 2015 г. состоялась международная конференция, посвящённая климатическим изменениям. Результатом работы конференции стало одобрение 195 странами и Европейским союзом Парижского соглашения. В качестве глобальной цели соглашение предусматривает удержание роста глобальной температуры в пределах 1,5 °C к концу столетия.



Мир и Беларусь. Назовите плюсы и минусы развития атомной энергетики в Беларуси и мире в связи с глобальным изменением климата.

Кроме рассмотренных выше, 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 для координации действий каждой страны. Стратегия сотрудничества включает два основных компонента: управление и приспособление. При стратегии управления основные усилия направлены на снижение выбросов парниковых газов, прежде всего углекислого газа. При осуществлении стратегии приспособления разрабатываются, например, комплексные проекты защиты конкретных прибрежных зон от повышения уровня моря. Основным документом, регулирующим 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-участницы должны взять на себя обязательство сократить выброс парниковых газов.



П2



Подведём итоги. Климат Земли изменяется в течение ..., ... и В значительной степени изменения климата вызваны человека. Изменения климата будут сопровождаться увеличением частоты явлений. Частичная деградация ... и ... мерзлоты повлияет на увеличение выбросов ... газа и ... в атмосферу. Рост уровня океана приведёт к ... низкорасположенных территорий, ... берегов и сооружений, находящихся на них; увеличению ... подземных вод и воды в устьях рек.



Проверим свои знания. 1. Назовите основные причины изменения климата. 2. Как возможное изменение климата повлияет на биоту Земли? 3. Как изменение климата повлияет на Мировой океан?



От простого к сложному. 1. Какие изменения климата следует ожидать в Беларуси в XXI в.? 2. В чём сущность стратегии международного сотрудничества в решении проблем, связанных с изменением климата?



От теории к практике. 1. Определите, какие изменения климата характерны для вашей местности. Как они могут повлиять на развитие сельского хозяйства? 2. Некоторые учёные считают, что в результате глобального потепления за Полярным кругом станет возможным заниматься земледелием. Приведите аргументы «за» и «против» этих взглядов.



Web-ресурсы.

Институт мировых ресурсов. Климат.



Сайт ООН. Меры по борьбе с изменением климата.



Сайт ООН. Конвенции и соглашения по климату.



Европейское агентство окружающей среды. Смягчение последствий изменения климата.



Международный союз охраны природы.
Изменение климата.



Сайт ФАО. Изменение климата и продовольственная безопасность: риски и ответные меры.



Сайт Всемирной метеорологической организации.

