

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра биофизики**

---

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

**Краткий конспект лекций к общему курсу  
для студентов специальностей  
1-31 03 01 «Математика (по направлениям)»,  
1-31 03 02 «Механика и математическое  
моделирование (по направлениям)»,  
1-31 03 08 «Математика и информационные технологии»,  
1-31 03 09 «Компьютерная математика и системный анализ»**

**В трех частях**

**Часть 1**

**ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ**

---

**МИНСК  
2016**

УДК 502/504(075.8)  
ББК 20.1я73-1+31.19я73-1  
Б40

С о с т а в и т е л и:  
**О. Д. Бичан, Л. К. Герасимова,  
Е. И. Коваленко, Т. А. Кулагова**

Рекомендовано советом  
физического факультета  
31 марта 2016 г, протокол № 7

Р е ц е н з е н т  
доцент кафедры радиационной химии  
и химико-фармацевтических технологий  
химического факультета БГУ  
кандидат биологических наук *Г. Н. Семенкова*

**Безопасность жизнедеятельности человека : краткий конспект**  
Б40 лекций к общему курсу для студентов спец. 1-31 03 01 «Математика», 1-31 03 02 «Механика и математическое моделирование», 1-31 03 08 «Математика и информационные технологии», 1-31 03 09 «Компьютерная математика и системный анализ». В 3 ч. Ч. 1: Основы экологии / сост. : О. Д. Бичан [и др.]. – Минск : БГУ, 2016. – 79 с.

Включенные в издание материалы помогут студентам, обучающимся по специальностям 1-31 03 01 «Математика», 1-31 03 02 «Механика и математическое моделирование», 1-31 03 08 «Математика и информационные технологии», 1-31 03 09 «Компьютерная математика и системный анализ» в усвоении общего курса «Безопасность жизнедеятельности человека».

**УДК 502/504(075.8)  
ББК 20.1я73-1+31.19я73-1**

© БГУ, 2016

## 1. НАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБЩЕЙ ЭКОЛОГИИ

Термин "экология" (от греческого "oikos" – дом и "logos" – учение) введен Геккелем. Экология – это наука о взаимоотношениях организмов между собой и средой, в которой они обитают.

Современную экологию можно рассматривать также как науку, определяющую масштабы и допустимые пределы воздействия человеческого общества на среду, возможности уменьшения этих воздействий или их полную нейтрализацию.

Аутоэкология – наука о взаимоотношениях между **организмом** /популяцией/ и окружающей средой. Популяция – это группа организмов одного вида, занимающая определенную территорию и обычно в той или иной степени изолированная от других сходных групп.

Синэкология – наука о взаимоотношениях **сообщества** и окружающей среды. Сообщество – это любая группа организмов различных видов, сосуществующих в одном и том же местообитании или на одной площади и взаимодействующих посредством трофических (пищевых) и пространственных взаимоотношений. **Местообитание** – это место, где живет организм, например, лес, луг, болото.

Структура современной экологии помимо биологии как таковой включает в качестве самостоятельных разделов экологию человека, инженерную экологию, экологию города, радиационную экологию, химическую экологию и т. д.

**Среда обитания** – это часть природы, непосредственно окружающая данные живые организмы и оказывающая на них прямое или косвенное воздействие. Среда обитания складывается из компонентов и факторов **физической природы** (например, солнечный свет, температура, влажность, толщина почвенного слоя, структура почвы и др.); **химической природы** (например, состав воздуха, почвы, веществ, растворенных в воде, и др.); **биологической природы** (например, другие организмы, обитающие в данной местности).

В земных условиях существуют 4 типа среды обитания:

- водная (гидросфера)
- воздушная или наземная (атмосфера)
- почвенная (литосфера)
- тело другого организма, используемое паразитами.

От окружающей среды (среды обитания) следует отличать **условия существования** – это все жизненно необходимые экологические факторы среды, без которых живые организмы не могут существовать. **Экологический фактор** – любой элемент или условие среды, оказывающие

влияние на живой организм и на которые организм реагирует приспособительными реакциями (адаптациями). Среда, окружающая организм, характеризуется огромным разнообразием экологических факторов, постоянно изменяющихся во времени и пространстве и способных оказывать прямое или косвенное воздействие. Некоторые из них не являются жизненно необходимыми.

Основной функциональной единицей экологии является экологическая система, которая состоит из определенных составных частей, называемых компонентами экосистемы. **Экологическую систему (экосистему)** можно определить как совокупность популяций различных видов растений, животных и микроорганизмов, взаимодействующих друг с другом и с окружающей их средой таким образом, что вся эта совокупность может сохраняться неопределенно долгое время.

Под экосистемами понимают устойчивые системы взаимоотношений живых и неживых компонентов, в которых совершается внешний и внутренний круговорот вещества и энергии. Обмен веществом и энергией между живыми и неживыми компонентами является важнейшим свойством экосистем.

В зависимости от источника энергии выделяют 4 типа экосистем:

1. Природные экосистемы, функционирующие исключительно за счет энергии Солнца (например, открытые части океанов, глубокие озера, крупные участки горных лесов).
2. Природные экосистемы, потребляющие энергию Солнца и других естественных источников (например, участки суши на берегах морей с приливами и отливами). Дополнительная энергия может иметь разнообразные формы.
3. Экосистемы, функционирующие за счет энергии Солнца и энергии, произведенной человеком (например, агроэкосистемы). Высокая производительность данных экосистем поддерживается притоками энергии и ресурсов.
4. Индустриально-городские экосистемы зависят от энергии органического топлива (например, города).

Взаимоотношения в экосистемах бывают пищевые (трофические) и непищевые (пространственные, поведенческие и др.).

В каждой экосистеме можно условно выделить два основных компонента:

- живые организмы – **биотический компонент**,
- факторы и элементы окружающей их неживой природы – **абиотический компонент**.

Всю совокупность организмов – растений, животных, микроорганизмов называют **биотой**, а способы взаимодействия разных категорий организмов формируют биотическую структуру экосистемы.

Экологическая ниша – пространственно-временное положение вида организмов в рамках экосистемы (т. е. где, когда, и чем питается, где устраивает гнездо).

Живыми или биотическими компонентами экосистем являются:

- **продуценты** или производители органического вещества, т. е. организмы, синтезирующие из неорганических веществ органические. Это зеленые растения, фото- и хемосинтезирующие микроорганизмы.
- **консументы** или потребители живого органического вещества. К ним относятся травоядные и хищные животные, паразиты. **редуценты**, т. е. организмы, разлагающие органическое вещество до неорганического. Это некоторые микроорганизмы и беспозвоночные.
- органические продукты метаболизма перечисленных групп.

Неживыми или абиотическими компонентами экосистем являются:

- газовый состав атмосферы;
- почва, горная порода (литосфера);
- вода с содержащимися в ней химическими соединениями (гидросфера);
- неорганические продукты метаболизма биотических компонентов в атмосфере, литосфере, гидросфере.

Биотический компонент является наиболее важной составной частью биосферы и играет доминирующую роль в поддержании ее экологического равновесия. Выделяют следующие основные функции биотического компонента:

- Энергетическая
- Деструктивная
- Концентрационная (избирательная)
- Средаобразующая

Различают наземные экосистемы (например, тайга, степь, дубрава, луг, сельскохозяйственный посев) и водные экосистемы (например, озеро, пруд, река, море).

Экологические системы низшего уровня входят в качестве подсистем в систему высшего уровня. Системы нижестоящих уровней, с одной стороны, находятся под контролем систем высших уровней, а с другой – оказывают на них влияние.

Экологические системы являются саморегулирующимися системами.

Саморегулирующиеся системы, обменивающиеся с окружающей средой веществом и энергией, называются открытыми (например, водные экосистемы). Для закрытых экосистем характерен только энергетический обмен с окружающей средой.

Понятие биосферы ввел в 1875 г. австрийский геолог Зюсс Э., а основы учения о биосфере сформулировал российский ученый В.И. Вернадский. **Биосфера** – это "поверхностный слой Земли, населенный живыми организмами и измененный их деятельностью. Человек возник и развивался в процессе эволюции жизни и биосферы Земли. Он порожден ею и зависит от ее состояния".

Биосфера – это наиболее крупная экосистема. Пределы биосферы обусловлены границами физических условий существования живых организмов. Пространственно биосфера охватывает верхние слои литосферы, всю гидросферу и нижние слои атмосферы. Важнейшими компонентами биосферы являются:

- «живое вещество» – растения, животные, микроорганизмы;
- «биогенное вещество» – органические и органоминералогические продукты, созданные живыми организмами на протяжении геологических историй - это каменный уголь, нефть, торф и др.;
- «косное вещество» – горные породы неорганического происхождения и вода;
- «биокосное вещество» – продукты синтеза живого и неживого, т. е. осадочные породы, почвы, илы и др.

Биосфера отвечает на вторжение в нее чужеродных веществ усилением способности к самоочищению. Однако эта способность имеет свои пределы. Следствием превышения этих пределов является экологическая катастрофа.

Например, факторами самоочищения водоемов являются:

- физические – это разбавление, растворение, перемешивание и др. Важным физическим фактором очищения воды от чужеродных веществ является ультрафиолетовое излучение. Однако оно может действовать губительно на фитопланктон;
- химические – протекание различных реакций, в результате которых концентрация исходных веществ уменьшается;
- биологические – утилизация чужеродных веществ различными бактериями, водорослями, беспозвоночными, насекомыми.

Каждый живой организм в биосфере или их совокупность выполняет определенную биологическую функцию, которая либо начинает какой-то процесс, либо является его промежуточным звеном, либо завершает его. Такая согласованная и взаимосвязанная деятельность живых организмов

Земли в тесной связи с окружающей средой и ее основными факторами физического, химического, биологического характера и создает сложное построение жизни в разных ее проявлениях – экологическую систему биосферу. Основой динамического равновесия и устойчивости биосферы является **круговорот веществ и превращения энергии**, а также **видовое многообразие живых организмов**.

Помимо потоков энергии и круговоротов веществ, экосистемы характеризуются развитыми информационными сетями, включающими потоки физических и химических сигналов, связывающих все части системы и управляющих ею (или регулирующих) как одним целым.

**Техносфера** является частью биосферы, охваченной влиянием технических средств и сооружений, созданных человечеством. Формирование техносферы началось в связи с бурным развитием техники в 18–19 веках. В этой связи техносферу считают начальной стадией ноосферы. В эпоху научно-технического прогресса становление техносферы сопровождается возникновением качественно новых процессов в природе, вызывающих порой непредвиденные последствия в виде экологических катастроф. Развитие техносферы определяется стремлением людей к комфорту, богатству и власти.

Для того чтобы биосфера продолжала существовать, и не прекращалось развитие жизни, должны происходить непрерывные химические превращения веществ. Т. е. после использования одними организмами вещества должны переходить в усвояемую для других организмов форму. Такая циклическая миграция веществ и химических элементов может осуществляться при определенных затратах энергии, источником которой является Солнце.

Существование живых организмов зависит от потребления вещества и энергии из внешней среды. Часть организмов используют непосредственно энергию солнечного света (растения), другие – химическую энергию потребляемых веществ (животные). За счет притока энергии извне живые организмы создают упорядоченные структуры своих тел, увеличивают свою биомассу и численность, совершают работу. При этом живым организмам присущ специфический способ преобразования и использования энергии органических соединений.

Последовательность живых организмов, осуществляющих перенос энергии Солнца и биогенных элементов, называют **пищевой цепью**.

Организмы, получающие энергию Солнца через одинаковое число ступеней пищевой цепи, считаются принадлежащими к одному трофическому уровню (или одному звену пищевой цепи).

Зеленые растения – автотрофы – 1 трофический уровень (продуценты).

Травоядные животные – фитофаги – 2 трофический уровень (первичные консументы).

Первичные хищники – плотоядные - 3 трофический уровень (вторичные консументы) (поедают травоядных).

Вторичные хищники – 4 троф. уровень (третичные консументы).

Пищевые цепи можно разделить на 2 основных типа: **пастбищная цепь** или цепь выедания, которая направлена от зеленого растения к растительноядным животным, поедающим растительные клетки и ткани, и к хищникам, поедающим растительноядных животных; **цепь разложения** или детритная цепь, которая идет от мертвого организма (вещества) к микроорганизмам и их хищникам. Главным образом – это бактерии, грибы, дрожжи и др. В результате мертвое органическое вещество разлагается на более простые соединения, вплоть до неорганических.

Пищевые цепи не изолированы, а тесно переплетаются друг с другом, образуя **пищевые сети**.

Однако существование большого числа уровней пищевой цепи невозможно из-за уменьшения биомассы. Показано, что биомасса предшествующего звена не может быть переработана последующим звеном полностью. На каждом последующем трофическом уровне биомасса примерно на 90 – 99% меньше, чем на предыдущем. Это явление было изучено английским экологом Ч. Элтоном и описано **экологическими пирамидами** численностей, биомассы и энергии. Графически пирамиды представляются в виде расположенных друг над другом прямоугольников равной высоты. Длина прямоугольников пропорциональна числу особей, массе или энергии на каждом трофическом уровне (рис. 1).

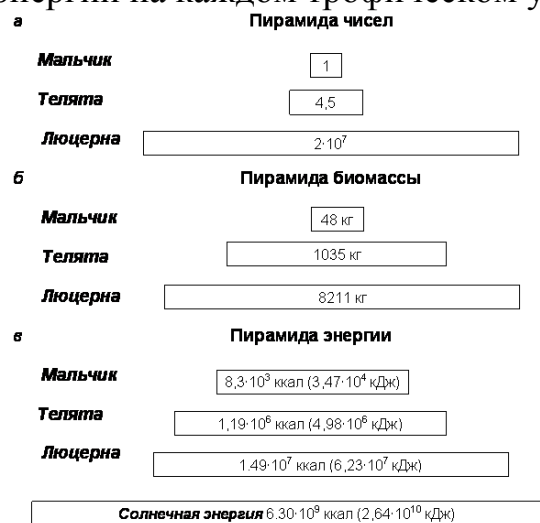


Рис. 1. Пирамида чисел, биомасс и энергии (по Ю. Одуму, 1975)



Основание пирамиды образуют растения-продуценты, над ними располагаются травоядные, далее первичные хищники и так до вершины пирамиды, которую составляют наиболее крупные хищники. Высота пирамиды обычно соответствует длине пищевой цепи. И поскольку на верхние «этажи» пирамиды энергия доходит в очень малых количествах, цепь редко состоит более чем из пяти звеньев.

С учетом затрат энергии на собственные нужды результирующий поток энергии, переходящий на следующий, более высокий трофический уровень, составляет примерно 10 % энергии, полученной данным уровнем. В результате на верхние трофические уровни (хищники) переходят всего тысячные доли % от энергии зеленых растений; пропорционально снижается и биомасса хищников по сравнению с массой зеленых растений. Это связано прежде всего с большими потерями энергии, т. к. при каждом очередном переносе часть энергии расходуется на удовлетворение энергетических затрат организма – движение, дыхание, размножение, поддержание температуры тела; значительная часть энергии рассеивается, переходит в теплоту.

Иное дело, когда речь идет о загрязнителях (тяжелых металлах, пестицидах, радионуклидах и др.). В отличие от биогенных элементов при переходе от одного трофического уровня к другому происходит накопление (концентрирование) в пищевой цепи загрязнителей. Это явление может быть охарактеризовано параметром, который называется коэффициентом накопления. Рассчитывается он как отношение концентрации загрязнителя на данном трофическом уровне к его концентрации на предшествующем (или в среде обитания).

Основными принципами существования экосистем являются следующие:

1. Получение ресурсов и избавление от отходов происходят в рамках круговорота всех элементов (Закон сохранения массы)

2. Существование экосистем возможно за счет незагрязняющей среду и практически неиссякаемой солнечной энергии, количество которой относительно постоянно и избыточно

3. Чем больше биомасса популяции, тем ниже должен быть занимаемый ею трофический уровень

За счет солнечной энергии на Земле существуют 2 круговорота веществ:

- геологический (циркуляция воды, атмосферы) – это обмен веществом и энергией между сушей и океаном;
- биологический (круговорот биогенных элементов) – это обмен атомами между живыми организмами и неживыми компонентами экоси-

стем. При этом элемент, пройдя целый ряд биологических и химических превращений, возвращается в состав того же химического соединения, в котором он находился в начальный момент. Движущей силой в функционировании круговоротов являются сами организмы, иными словами – различный характер их питания. Биогенными элементами, участвующими в биологическом круговороте веществ являются: С, Н, О, N, Р, S, К, Са, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, В, Cl, Br, I. Первые шесть являются важнейшими.

Оба круговорота веществ тесно связаны между собой и представляют единый процесс, установившийся в ходе эволюции. Имеют они и свои особенности.

1. Действие геологического круговорота разворачивается на больших территориях – материках и прилегающих частях океанов, действие биологического круговорота осуществляется в границах экосистемы, биогеоценоза.

2. Причиной геологического круговорота является разность температур между океаном и сушей, причиной биологического – разный характер питания продуцентов, консументов и редуцентов.

3. В геологическом круговороте участвуют все элементы, находящиеся в земной коре, в биологическом – только биогенные.

4. Продолжительность цикла в геологическом круговороте равна десяткам и сотням тысяч лет, циклы элементов в биологическом круговороте кратковременные – от года до нескольких десятков и сотен лет.

Вышесказанное предопределяет высокую восприимчивость биологического круговорота веществ к региональным антропогенным воздействиям, которые могут приводить к нарушениям в экосистемах, в том числе в ряде случаев и в биосфере. Тогда говорят о глобальных экологических катастрофах.

## **Примеры круговоротов**

### ***Круговорот биогенных элементов в озерной экосистеме***

Фитопланктон и водоросли служат пищей зоопланктону и травоядным рыбам. Зоопланктон и молодь травоядных рыб поедается хищными рыбами, которые служат пищей некоторым животным и человеку.

Отмирающие растения, погибающие рыбы и их экскременты служат пищей для микроорганизмов – разлагающих бактерий.

Аэробные бактерии в процессе разложения органических остатков потребляют, как и другие живые организмы, растворенный в воде кислород, выделяя вместо него двуокись углерода, а также возвращают в водо-

ем питательные вещества в виде нитратов, фосфатов и других неорганических веществ, которые служат пищей фитопланктону и водорослям. На этом цикл замыкается.

### ***Круговорот воды***

Вода служит не только средой обитания для многих организмов, но и является составной частью организма всех живых систем.

В процессе фотосинтеза вода поставляет водород для построения органических соединений и является источником кислорода, выделяемого зелеными растениями. В противоположность фотосинтезу в процессе дыхания происходит новообразование молекул воды.

За время существования жизни на Земле вся свободная вода гидросферы прошла несколько циклов разложения в фотосинтетическом аппарате растительных организмов и регенерации в дыхательных системах живых существ. Вода, расходуемая на транспирацию в растениях, возвращается в атмосферу. Часть молекул воды в результате сложных биохимических превращений в клетках животных и человека также возвращается в атмосферу.

Несмотря на огромное значение воды во всех жизненных процессах, происходящих в биосфере, биотический компонент не играет определяющей роли в большом круговороте воды на земном шаре. Движущей силой этого круговорота является энергия Солнца, которая тратится на испарение воды с поверхности водных бассейнов или суши.

При круговороте воды происходит изменение агрегатного состояния, т. е. превращение жидкой воды в твердую или парообразную и наоборот, что позволяет поддерживать равновесие между суммарным испарением и выпадением осадков на планете. Ежегодно эта величина в среднем составляют 520 тыс.куб.м. Под влиянием солнечной энергии происходит испарение огромных масс воды, в результате чего атмосфера насыщается влагой. Водяные пары в холодном воздухе конденсируются, собираются в капли, падающие на землю в виде осадков. Большая часть осадков выпадает над океанами, морями, прибрежными местностями. Вода осадков, выпавших на сушу, стекает в ручьи, реки, а затем в океан. Вода, проникающая в почву, частично пополняет запасы почвенной влаги, частично поступает в подземный сток, также связанный с океаном. Из почвы и гидросферы вода поглощается растениями и животными.

В результате техногенного, агрохимического, мелиоративного воздействия может происходить нарушение равновесия в экосистемах, сопровождаемое нарушением водного баланса. Например, пересохло Аральское море; в белорусском Полесье – мелиорация привела к опустынива-

нию участков земель; через водную систему может происходить миграция загрязнителей на большие расстояния от источника загрязнений.

### ***Круговорот кислорода***

Земля – единственная планета солнечной системы, в атмосфере которой содержится большое количество кислорода (21%). Свободный кислород – необходимое условие существования преобладающего большинства живых организмов. В тоже время кислород атмосферы является продуктом их жизнедеятельности. Растительный мир биосферы ежегодно выделяет в процессе фотосинтеза около 450 млрд. т кислорода. Процесс небиологического фотолиза паров воды в верхних слоях атмосферы дает только тысячные доли процента общего содержания кислорода в атмосфере.

Узловыми звеньями круговорота кислорода являются: образование свободного кислорода при фотосинтезе, потребление его в процессе дыхания, окисление органических остатков и неорганических веществ (сжигание) и др. химические преобразования. Кислород обеспечивает дыхание животных, растений и микроорганизмов в атмосфере, почве и воде. Весь кислород атмосферы проходит через живое вещество примерно за 2000 лет.

В настоящее время влияние на круговорот кислорода в биосфере оказывает деятельность людей. Ежегодно на различные нужды используется не менее 10 млрд. т кислорода. Уничтожение лесов на значительных территориях, создание крупных промышленных узлов, сжигание топлива может привести к значительным экологическим проблемам, связанным с этим жизненно важным газом.

### ***Углекислый газ и круговорот углерода***

Углерод является химическим элементом, свойствами которого в основном определяется многообразие органических веществ, биохимических процессов и жизненных форм на Земле. Содержание его в большинстве живых организмов составляет около 45 % сухой массы.

Круговорот углерода на суше начинается с фиксации атмосферного углекислого газа в процессе фотосинтеза. Здесь из углекислого газа и воды образуются углеводы, часть которых расходуется самими растениями для получения энергии. Образующийся при этом углекислый газ уходит в атмосферу. Часть фиксированного растениями углерода потребляется животными, которые при дыхании выделяют его в виде углекислого газа.

Мертвые растения и животные разлагаются микроорганизмами почвы, в результате чего углекислый газ выделяется в атмосферу.

Аналогичный круговорот углекислого газа существует и в океане. Между атмосферой и океаном происходит обмен углекислым газом: понижение количества углекислого газа в атмосфере компенсируется за счет океана, избыток углекислого газа поступает в океан.

Наиболее сильное влияние на биологический круговорот углерода деятельность человека начала оказывать с того времени, когда стали сжигать в огромных количествах горючие ископаемые, возвращая в атмосферу углекислый газ, фиксированный миллионы лет назад. В результате этого процесса за последнее столетие содержание углекислого газа в атмосфере возросло примерно на 30 %. Сжигание ископаемого топлива на ТЭЦ и предприятиях металлургической промышленности, загрязнение природных морей и океанов нефтепродуктами и многое другое может привести к глобальным экологическим проблемам, например, изменению климата, парниковому эффекту и т. д.

### ***Круговорот азота***

Азот входит в состав большинства биологически важных органических веществ всех живых организмов: белков, нуклеиновых кислот, хлорофилла. Атмосфера содержит 78 % молекулярного азота. Однако в газообразной форме азот не может непосредственно использоваться высшими организмами и большинством низших растений и животных. Растения усваивают фиксированный азот из почвы в виде аммонийных или нитратных ионов, животные – органический азот. Большая часть микроорганизмов используют и минеральный и органический азот.

Существуют 4 пути включения азота в биологический круговорот:

1 путь – поступление азота в почву в результате деятельности азотфиксирующих микроорганизмов;

2 путь связан с грозовыми разрядами и вулканической деятельностью. Образующиеся при этом окислы азота, растворяясь в каплях воды атмосферы, поступают в почву в виде нитратного азота;

3 путь – разложение органического вещества, содержащегося в прижизненных выделениях организмов, а также в их трупах, и поступление аммиачного азота в окружающую среду;

4 путь – внесение удобрений (минеральных и органических).

Расход минерального азота связан с питанием растений и микроорганизмов, а также вымыванием его поверхностными и грунтовыми водами.

Нарушение сбалансированности всех четырех путей поступления азота в окружающую среду может вызвать разнообразные экологические проблемы: выпадение кислотных дождей, эвтрофирование озер, загрязнение почв, грунтовых вод и пищевых продуктов нитратами и др. В настоящее время все большую роль играет промышленная фиксация атмосферного азота, и, прежде всего, производство и широкое применение азотных удобрений.

### ***Круговорот серы***

Основное значение серы для живых организмов обусловлено вхождением серы в состав некоторых аминокислот и ряд других биологически важных молекул. Содержащие серу аминокислоты за счет образования дисульфидных связей поддерживают трехмерную структуру белковых молекул. Сера усваивается растениями только в виде иона  $\text{SO}_4$ . В растениях сера восстанавливается и входит в состав аминокислот. Животные усваивают и используют только восстановленную серу, включенную в состав органических веществ. После отмирания растительных и животных организмов сера опять возвращается в почву.

Круговорот серы – обширный резервный фонд в почве и отложениях, в меньшей степени – в атмосфере.

В биосфере существует хорошо развитый процесс циклических превращений серы и ее соединений. Основную роль в обменном фонде серы играют специализированные микроорганизмы, каждый из которых выполняет определенную функцию окисления и восстановления. Основной накопитель серы – мировой океан, поскольку из почвы в него непрерывно поступают сульфатные ионы. Часть накопившейся в океане серы возвращается на сушу через атмосферу. Это происходит следующим образом. Бактерии, фиксирующие серу, живут в морских илах. Они восстанавливают сульфаты серы морской воды до сероводорода. Сероводород поступает в воздух, где окисляется и превращается в диоксид серы, который растворяется в дождевой воде с образованием серной кислоты и сульфатов. С атмосферными осадками сера возвращается в почву.

Все большее влияние на круговорот серы оказывает хозяйственная деятельность человека. В процессе добычи и переработки серы, при сжигании каменного угля и нефтепродуктов в атмосферу поступает большое количество сернистых соединений  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ . Основными экологическими проблемами, связанными с этими соединениями, являются выпадение кислотных дождей, формирование фотохимического смога по Лондонскому типу.

Рассмотренные выше элементы, участвующие в круговоротах, образуют, как правило, растворимые и летучие соединения. Их путь в биологическом круговороте веществ охватывает все 4 сферы. Иначе обстоит дело с фосфором и другими минеральными элементами, например, калием, марганцем, кальцием и т. д. Их соединения не могут возвратиться из гидросферы через атмосферу в литосферу. Существует лишь односторонний поток этих элементов из литосферы через биоту в литосферу и затем в гидросферу. Рассмотрим это на примере фосфора.

### ***Круговорот фосфора***

Фосфор относится к важнейшим биогенным элементам. Органические соединения фосфора играют важную роль в процессах жизнедеятельности всех растений и животных, входят в состав нуклеиновых кислот, сложных белков, фосфолипидных мембран, являются основой биоэнергетических процессов.

Круговорот фосфора – проще круговорота азота по структуре, т. к. фосфор встречается только в немногих химических формах. Резервуаром служит не атмосфера, а горные породы.

Фосфор усваивается растениями в виде ионов ортофосфорной кислоты  $\text{PO}_4$ . Его круговорот в биосфере является незамкнутым. На поверхности суши протекает интенсивный круговорот фосфора в системе почва-растения-животные-почва. Фосфор, поглощенный растениями из почвы, после минерализации органических веществ в процессе окисления снова поступает в виде фосфатов в почву. Основная часть фосфора вновь поглощается корневой системой растений, а оставшаяся часть вымывается со стоком дождевых вод из почвы в водные бассейны.

Много фосфора в виде фосфатов содержат горные породы. Часть этих запасов постепенно переходит в почву, часть добывается и перерабатывается в фосфорные удобрения, а часть выщелачивается и вымывается в гидросферу.

Круговорот фосфора происходит и в системе суша – мировой океан. Здесь происходят значительные потери фосфора из биологического круговорота за счет отложений остатков растений и животных на больших глубинах. При этом основой круговорота является вынос фосфатов с речным стоком, взаимодействие их с кальцием, образование фосфоритов, залежи которых со временем выходят на поверхность и включаются в миграционные процессы. Поскольку фосфор может мигрировать с водой только из литосферы в гидросферу, частичный возврат фосфора в литосферу осуществляется лишь биологическим путем: при употребле-

нии рыбы морскими птицами, использовании донных водорослей и рыбной муки в качестве удобрений.

Ежегодный вынос фосфора в мировой океан оценивается 140 млн. т, скорость обратного переноса фосфора из океана на сушу птицами и с продуктами рыбного промысла составляет значительно меньшую величину – 100 тыс. тонн в год. Искусственное внесение фосфатных удобрений в наземные агроценозы составляет 70 млн. т в год, причем заметная доля удобрений смывается с полей в водоемы. Широкое использование синтетических стиральных порошков, содержащих фосфор, также вызывает рост биомассы водорослей в водоемах пропорционально количеству сброшенного фосфора. Это приводит к снижению качества воды, ухудшению ее вкуса и запаха, эвтрофированию озер.

Помимо естественных круговоротов биогенных веществ в последние годы начинают говорить о возникновении так называемых техногенных круговоротов. Рассмотрим некоторые из них.

### ***Круговорот радионуклидов***

В природе существует круговорот радионуклидов, обусловленный естественным их происхождением. В обычных условиях доля этих веществ в общем массопереносе невелика и определяется в основном путями миграции их стабильных изотопов. Например: радиокалий – 40, калий – 39; радиоуглерод-14, углерод-12 и т. д.

В результате различного рода аварий, в том числе и на Чернобыльской АЭС, испытания ядерного оружия, добычи и обогащения урановых руд, их транспортировки и т. д., в ряде регионов естественный радиационный фон возрос значительно, а в круговорот включились радиоизотопы техногенной природы. Последние опасны еще и потому, что, перемещаясь в основном по пищевым цепям, накапливаются в различных тканях и органах, слабо выводятся из организма и приносят значительный экологический ущерб биотической компоненте экосистем.

В растения радионуклиды попадают с поверхности земли при осаждении или вымывании из атмосферы, а также из почвы через корневую систему. Затем по пищевым цепям растения – корова – молоко – человек или растение – животное – мясо – человек и др. попадают в организм человека, нанося значительный ущерб его здоровью.

Хозяйственная или антропогенная деятельность затрагивает, как правило, не один природный круговорот, а многие циклы. Негативный характер последствий наблюдается при широком вовлечении в сферу хозяйственной деятельности целого ряда природных элементов.



### ***Круговорот алюминия***

В последние годы масштабы использования алюминия расширяются, и можно утверждать, что уже сегодня основу его круговорота составляет техногенный цикл.

Извлекаемый из земной коры алюминий перерабатывается в продукцию, которая при старении отправляется на переплавку. Цикл не замкнут, и непрерывно образующиеся отходы во все больших количествах возвращаются в земную кору на захоронение. Опасность усугубляется тем, что при подкислении почвенной влаги, например, кислотными дождями, до pH 5 и ниже резко возрастает растворимость соединений алюминия. В растворенной форме алюминий становится геохимически подвижным и способен вымываться из почвы. При пониженном значении pH воды токсическое действие алюминия сравнимо с действием на организмы тяжелых металлов. Отмечается возникновение «алюминиевой» болезни у водных организмов, заключающейся в нарушении структуры различных металлоорганических соединений в живых тканях, а именно, замещение магния, кальция, натрия, железа на алюминий.

### ***Закономерности влияния экологических факторов на живые организмы***

Элементы окружающей среды, оказывающие положительное или отрицательное влияние на живые организмы на протяжении хотя бы одной из фаз их индивидуального развития, называются экологическими факторами. Экологические факторы разнообразны как по своему происхождению, так и по характеру действия на живой организм (рис. 2). По происхождению экологические факторы делят на биотические, абиотические и антропогенные, т. е. возникающие в результате промышленной, сельскохозяйственной и иной деятельности.

Важнейшими абиотическими факторами являются в большинстве случаев свет, температура, вода, пища, кислород.



Рис. 2. Классификация экологических факторов

### ***Солнечный свет***

Солнечное излучение представляет собой электромагнитное излучение в широком диапазоне длин волн, составляющих непрерывный спектр от 0,1 нм до 20–30 мкм.

Длина волны 0,39–0,76 мкм – видимое излучение, в том числе длина волны 0,35–0,75 мкм – физиологически значимое излучение, в нем заключено около половины излучения Солнца, необходимого для протекания фотобиологических процессов.

Доходящее до поверхности земли излучение Солнца состоит из прямых солнечных лучей (24 %) и диффузно рассеянных небосводом (23 %). Это определяет световой режим на Земле. Суммарная радиация при этом достигает 4,6 кДж/см<sup>2</sup>. Остальное излучение поглощается облаками, аэрозолями и переменными компонентами атмосферы (углекислый газ, вода, кислород, озон) или отражаются в космическое пространство.

Экологически значимыми являются следующие показатели света:

- продолжительность светового дня (длина дня или фотопериод)

- интенсивность в энергетических единицах
- качественный или спектральный состав

### ***Магнитное поле***

Землю можно представить в виде огромного магнита, воображаемая ось которого лежит относительно близко к оси вращения планеты. Магнитные силовые линии окружают земной шар, образуя вокруг него магнитосферу, защищающую живые существа от так называемого солнечного ветра. При высокой солнечной активности возникают магнитные бури, ломающие стройную магнитосферу, к Земле подходят высокоэнергетические радиоактивные частицы, электромагнитное излучение усиливается.

### ***Ионизирующее излучение***

Одним из важных экологических факторов является ионизирующая радиация. Раздел экологии, в которой рассматриваются такие проблемы, как изучение распределения и миграции радионуклидов в биосфере, их накопление живыми организмами, а также изучение воздействия ионизирующей радиации на организмы и экологические системы, называют радиационной экологией. Естественный радиационный фон на Земле существовал практически со времени ее образования и, как считают некоторые ученые, является лимитирующим экологическим фактором.

### ***Воздействие абиотических факторов на живые организмы***

В природных условиях рост и размножение живых организмов ограничивается целым рядом различных абиотических факторов: температура и освещение внешней среды, недостаток пространства и др. Важнейшим фактором, ограничивающим рост популяций, является недостаток доступных компонентов питания.

Установлено, что для каждого вида (растений, животных) существует зависимость показателей жизнедеятельности, например, скорость роста, плотность популяции и т. д., от параметров экологического фактора, например, температуры, влажности, освещения и т. д. Эта зависимость описывается колоколообразной кривой и называется **правилом оптимума**: диапазон действия экологического фактора ограничен соответствующими пороговыми значениями этого фактора, при которых возможно существование организма. Этот диапазон значений от минимума до максимума называют зоной толерантности, диапазоном устойчивости, выносливости.

Для каждого вида растений и животных существуют – оптимум, зона нормальной жизнедеятельности, стрессовые (угнетения) зоны и пределы устойчивости в отношении каждого фактора среды (рис. 3).

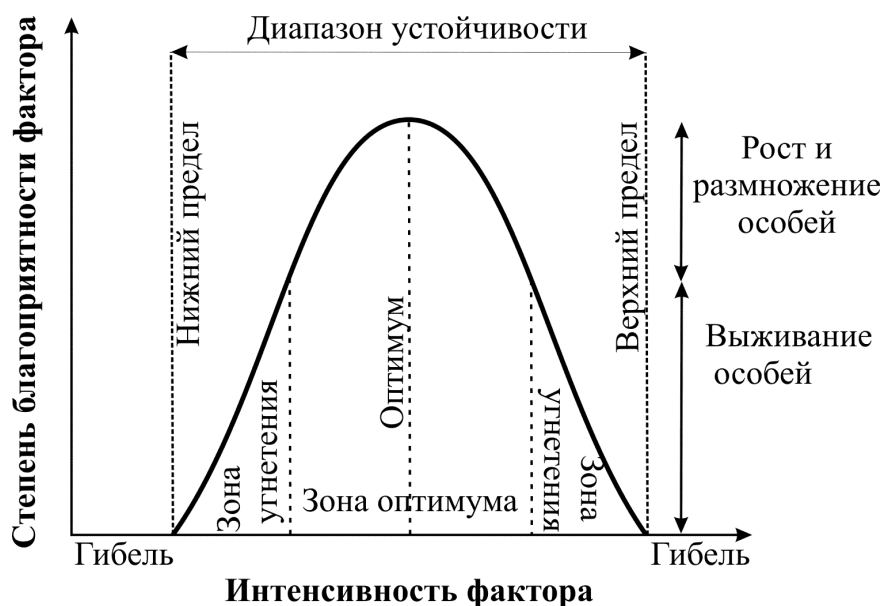


Рис. 3. Графическое представление правила оптимума

### ***Концепция лимитирующих (ограничивающих) факторов***

В реальных условиях значения параметров экологических факторов могут отличаться от оптимальных. Эмпирическим путем установлено, что существование организмов зависит от тех экологических факторов, значение которых находится в минимуме. Даже единственный фактор за границами зоны оптимума приводит к угнетенному (стрессовому) состоянию, а за пределами его выносливости – к его гибели. Например, величина урожая определяется количеством в почве того из элементов питания, который находится в минимальном количестве. По мере повышения его содержания урожай будет возрастать пропорционально вносимым дозам до тех пор, пока не окажется в минимуме другое вещество. Ограничивающее значение имеют не только те факторы, значения которых находятся в минимуме, но и факторы, находящиеся в зоне максимума.

**Концепция лимитирующих (ограничивающих) факторов** – существование вида определяется как недостатком, так и избытком экологического фактора. В связи с этим все факторы, уровень которых приближается к пределам выносливости организма или превышает его, назы-

вают лимитирующими факторами. К лимитирующим факторам относят воду, температуру, химический состав атмосферы, воды, почв и т. д.

В реальных условиях плотность популяции будет наибольшей там, где все параметры среды для нее оптимальны. Она снизится, но не упадет до нуля, если значения одного или нескольких абиотических факторов окажутся стрессовыми. Вид будет отсутствовать там, где величина хотя бы одного из факторов выходит за пределы его выносливости.

Ю. Одум дополнил правило оптимума и принцип лимитирующих факторов следующими положениями.

1. Организмы могут иметь широкий диапазон толерантности в отношении одного экологического фактора и узкий диапазон – в отношении другого. (Ракообразные могут существовать в узком диапазоне температур и в то же время в широком диапазоне концентрации солей в воде).

2. Наиболее распространены в биосфере организмы с широким диапазоном толерантности в отношении всех экологических факторов.

3. Если условия по одному экологическому фактору не оптимальны для вида, то диапазон толерантности может сузиться и в отношении других экологических факторов.

4. Многие факторы сред становятся лимитирующими в критические периоды жизни организмов особенно в период размножения (пределы выносливости для размножающихся особей, семян, яиц, эмбрионов, проростков и личинок обычно уже, чем для взрослых особей).

### ***Эффект компенсации***

Экологические факторы действуют на организм совместно, но не в виде простой суммы, а как сложный, взаимодействующий комплекс. Поэтому реальное положение оптимума и границы выносливости организма по отношению к какому-либо одному фактору зависят от других факторов. Так, в природе иногда недостаток одного фактора частично компенсируется усилением другого. (В пустыне недостаток осадков компенсируется повышенной влажностью в ночное время. В Арктике – недостаток тепла компенсируется продолжительным световым днем).

Явление частичной взаимозаменяемости действия экологических факторов называют **эффектом компенсации**.

В компенсационном действии окружающей среды значение отдельных экологических факторов неравноценно. Среди них выделяют ведущие (главные), т. е. необходимые для жизнедеятельности, и второстепенные (сопутствующие). На разных стадиях развития может происходить смена ведущих факторов. (При прорастании семян ведущим фактором является влажность, а на стадии роста – солнечный свет, минеральное питание). Однако ни один из необходимых организму экологических факторов не может быть заменен другим. (Зеленые растения не могут произрастать без света даже при самых оптимальных режимах температуры и питания).

### ***Биотические отношения между организмами***

В природной среде на каждый живой организм действуют не только факторы неживой природы, но и другие живые существа. Их относят к биотическим факторам или биотическому окружению.

Представители каждого вида способны существовать в таком биотическом окружении, где связи с другими организмами обеспечивают им нормальные условия жизни. Основной формой проявления этих связей являются пищевые отношения, на базе которых формируются сложные цепи и сети питания.

Кроме пищевых в сообществах растительных и животных организмов возникают пространственные и поведенческие связи. Территориальное поведение выражается в ограничении роста популяции посредством регулирования использования территории обитания. Групповое поведение выражается в определенной субординации (поглощении пищи особями разного возраста, половом доминировании и т. п.). Все это является базой формирования биотических комплексов, в которых разные виды объединяются не в любом сочетании, а только при условии приспособлен-

ности к совместному проживанию. Биотические факторы могут действовать не только непосредственно, но и косвенно – через окружающую среду.

При этом отношения между организмами могут быть положительными, отрицательными и нейтральными. Примеры разных типов биотических отношений приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Примеры разных типов биотических отношений**

Тип взаимоотношений	Значение для двух видов	Сущность понятия	Примеры
Мутуализм (симбиоз, кооперация)	+	Взаимовыгодная форма сожительства, построенная на пищевых, пространственных и др. типах взаимоотношений	Актиния и рак-отшельник, носорог и птицы, склевывающие с кожи паразитов
Хищничество (Каннибализм – для организмов одного вида)	+	Один организм (хищник) добывает и поедает другого (жертву).	Волки и лисы поедают зайцев, мышей
Паразитизм	-	Один организм (паразит) использует другого в качестве источника питания и среды	Гриб-трутовик паразитирует на деревьях, спорынья – на злаках
Комменсализм (нахлебничество)	0	Один из организмов извлекает из взаимоотношения пользу, для другого отношения нейтральны	Рыбы-прилипалы и акулы, дающие им защиту и пищу
Конкуренция	-	Борьба за одни и те же условия окружающей среды между разными видами или внутри вида	Хищные птицы и звери в лесах конкурируют за пищу – мышей
Аменсализм	-	Деятельность одного вида приводит к угнетению другого	Ели в смешанном лесу затеняют березы и др. лиственные, хотя жизнь елей не зависит от них
Нейтрализм	0	Разные виды организмов имеют различающиеся экологические ниши и не вступают во взаимодействие друг с другом	Савана Африки: разные виды антилоп поедают растения разных ярусов (жирафы – листья деревьев, Гну – листья кустарников,

			Куду – низкие травы)
--	--	--	----------------------

Многообразие связей между компонентами биосферы, взаимозависимость элементов экосистем, развитие и совершенствование природы отражено в четырех законах экологии, сформулированных в афористичной форме американским экологом Б. Коммонером:

1. «Все связано со всем»
2. «Все должно куда-то деваться»
3. «Ничто не дается даром»
4. «Природа знает лучше»

## 2. ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

### 2.1. Классификация загрязнений окружающей среды

С экологических позиций загрязнению можно дать следующее определение: загрязнение окружающей среды – это внесение в ту или иную экологическую систему не свойственных ей живых или неживых компонентов (или структурных изменений), прерывающих круговорот веществ, их ассимиляцию, поток энергии, вследствие чего снижается продуктивность экосистемы или она разрушается.

Более общим определением является следующее.

**Загрязнителем** может быть любой физический фактор, химическое вещество или биологический вид (преимущественно микроорганизмы), попадающие в окружающую среду или возникающие в ней в количествах, выходящих за рамки своей обычной концентрации.

По природе загрязнения окружающей среды подразделяют на **естественные**, вызванные какими-то природными (обычно катастрофическими причинами – извержение вулкана, селевой поток и др.) и **антропогенные**, возникающие в результате деятельности людей. Среди антропогенных различают загрязнители, **разрушаемые** биологическими процессами и **неразрушаемые** ими (стойкие). Первые входят в естественные круговороты веществ и поэтому быстро исчезают или подвергается разрушению биологическими агентами. Вторые не входят в естественные круговороты веществ, а потому разрушаются организмами в пищевых цепях или аккумулируются в них.

По типу антропогенные загрязнения делят на: **биологическое** загрязнение, в том числе микробиологическое загрязнение, связанное с появлением большого количества микроорганизмов. Это обусловлено массовым их размножением на антропогенных субстратах или средах, измененных в ходе хозяйственной деятельности человека;



**механическое** – засорение среды агентами, оказывающими лишь механическое воздействие без физико-химических последствий;

**химическое** – изменение естественных химических свойств среды, в результате которого повышается среднее колебание количества каких-то веществ в рассматриваемый период времени или проникновение в среду веществ, обычно отсутствующих в ней или в концентрациях, превышающих норму;

**физическое**, которое в свою очередь делят на:

**тепловое** (термальное), возникающее в результате повышения температуры среды, главным образом, в связи с промышленными выбросами нагретого воздуха, отходящих газов и воды;

**световое** – нарушение естественной освещенности местности в результате воздействия искусственных источников света, приводящее к аномалии в жизни растений и животных;

**шумовое** – образующееся в результате увеличения интенсивности и повторяемости шума сверх природного уровня;

**электромагнитное** – появляющееся в результате изменения электромагнитных свойств среды (от линий электропередач, радио и телевидения, работы некоторых промышленных установок и т. п.);

**радиоактивное** – связанное с превышением естественного уровня содержания в среде радиоактивных веществ.

### **Классификация загрязняющих атмосферу веществ**

Атмосферу делят на три части: нижняя – тропосфера (7–15 км), средняя – стратосфера (50–60 км), верхняя – ионосфера (80–85 км). Температура в атмосфере снижается на 5–6 °С при подъеме на высоту 1 км.

По составу газов в атмосфере можно выделить 3 компонента.

**Постоянная составляющая:** азот, кислород, аргон, гелий, неон, криптон, ксенон. Концентрация их в атмосфере во всех точках земного шара практически постоянна.

**Переменная составляющая:** пары воды, углекислый газ.

**Случайная составляющая, включающая:**

- природные выделения (результат жизнедеятельности живых организмов, разложение органических веществ, лесных и других пожаров, деятельности вулканов, гейзеров и т. д.). Источники этих выделений распределены относительно равномерно, включаются в круговороты. Уровень загрязнения от них мало изменяется во времени. (Исключение – природные катастрофы);

- антропогенные выбросы. В настоящее время из случайных превратились в постоянно действующие.

В экологическом плане можно выделить следующие функции атмосферы:

1. Атмосфера является средой распространения и обитания для многих живых существ, является носителем газов, обеспечивающих важнейшие жизненные процессы у живых организмов, например, дыхание.

2. Предохраняет землю от резких колебаний температуры – чрезмерного остывания и нагревания (в течение суток температура поверхности Земли могла бы измениться в пределах 200 °С: днем > +100 °С, ночью < –100 °С. Реально средняя температура составляет около +15 °С).

3. Защищает все живое от губительного ультрафиолетового и ионизирующего излучения космического происхождения.

4. Обеспечивает равномерное освещение земной поверхности за счет рассеяния солнечного света.

5. Среда, в которой хорошо распространяется звук.

6. Атмосфера выполняет роль переносчика и перераспределителя влаги на Земле.

7. За счет массы воздуха давление воздуха примерно постоянно и уравнивается давлением газов, насыщающих биологические ткани.

По агрегатному состоянию все загрязняющие атмосферу вещества делят на 4 группы: твердые, жидкие, газообразные и смешанные (включая аэрозоли).

Существуют два главных источника загрязнения атмосферы: естественный и искусственный (антропогенный). Источники загрязнения земного (морского, континентального) и космического (космическая пыль) происхождения относятся к естественным. К антропогенным источникам загрязнения атмосферы относят промышленность, сельское хозяйство, транспорт, коммунально-бытовое хозяйство.

Следует отметить, что изменения состава воздуха, отмечаемые на больших территориях, не всегда вызваны деятельностью человека. Они также могут быть результатом биологических процессов в местах, не затронутых антропогенным влиянием, т. е. относятся к источникам естественного происхождения.

Среди антропогенных источников загрязнения атмосферы особое место занимают промышленные загрязнения. Промышленные выбросы в атмосферу могут классифицироваться:

1. По организации отвода и контроля – организованные и неорганизованные.

2. По режиму отвода – непрерывные и периодические.

3. По температуре – нагретые (температура газопылевой смеси выше температуры окружающего воздуха) и холодные.

4. По локализации – в основном, вспомогательном и подсобном производстве.

5. По признакам очистки – выбрасываемые без очистки или после очистки.

Организованный промышленный выброс – это выброс, поступающий в атмосферу через специально сооруженные газоходы, воздуховоды, трубы.

Неорганизованный промышленный выброс – это поступление в атмосферу ненаправленных потоков газа в результате нарушения герметичности оборудования.

Промышленные выбросы также могут быть первичными, т. е. непосредственно поступающие в атмосферу от тех или иных источников, и вторичными, т. е. продуктами превращений в атмосфере, например в результате фотохимического окисления первичных промышленных выбросов. Часто бывает, что они являются более токсичными.

Таблица 2

**Природные загрязнители атмосферы**

Источники загрязнения	Загрязнители атмосферы
хвойные леса	терпены, изопрены
болота	СН <sub>4</sub> (метан)
очаги гнилостных процессов	сероводород, аммиак
моря, океаны	амины, оксид углерода (угарный газ) галогениды, закись азота, аммиак, сульфаты, нитраты
вулканы	диоксид серы, водород, угарный газ сероводород
песчаные бури	пыль, аэрозоли, споры, пыльца, органические и минеральные частицы
крупные пожары	сажа, пепел

Источниками антропогенного загрязнения могут служить теплоэнергетика, нефте- и газопереработка, автомобильный транспорт, различные промышленные предприятия, испытания термоядерного оружия и т. д. Каждый из этих источников связан с выделением специфических примесей, состав которых насчитывает десятки тысяч наименований. Наиболее распространенные антропогенные загрязнители и их источники представлены в таблицах 3 и 4:

Таблица 3

**Важнейшие антропогенные пылевидные загрязнители воздуха**

Источники загрязнения	Загрязнитель
Электростанции	Зола
Сжигание нефти, неполное сгорание угля и органических веществ	Сажа
Вулканическая деятельность, космическая пыль, ветровая эрозия. Промышленное производство, выхлопные газы	Тяжелые металлы, минеральные соединения
Цементная промышленность	Цементная пыль
Печи для выплавки свинца, цинка, меди, сталелитейная промышленность	Металлургическая пыль
Добыча, транспортировка. Переработка калийной соли	Калийная пыль KCl
Производство стиральных порошков	Стиральные порошки: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$
Производство соды	Содовая пыль $\text{Na}_2\text{CO}_3$
Производство фосфорных удобрений	Фосфатная пыль
Лесные пожары. Химическая промышленность, сжигание, сельское хозяйство (пестициды), заводы белково-витаминных концентратов	Органические вещества (естественные и синтетические)
АЭС, ядерные взрывы, добыча и транспортировка руды, обогатительные фабрики	Радиоактивные вещества

Таблица 4

**Важнейшие антропогенные газообразные загрязнители воздуха**

Источники загрязнения	Загрязнители воздуха
Сжигание ископаемого топлива	Углекислый газ $\text{CO}_2$
Работа двигателей внутреннего сгорания	Угарный газ CO
Выхлопные газы	Углеводороды $\text{C}_m\text{H}_n$
Химическая промышленность, сжигание отходов, топлива	Органические соединения
Электростанции, домашние топки (бурый, каменный уголь, мазут). Химические предприятия, металлургическая промышленность, заводы сульфитной целлюлозы, коксовые заводы	Сернистый газ $\text{SO}_2$
Заводы по производству серной кислоты, отопление нефтепродуктами	Сернистый ангидрид $\text{SO}_3$
Производство светильного газа, сульфатной целлюлозы, вискозы, коксовые, нефтеперегонные заводы	Сероводород $\text{H}_2\text{S}$

**Важнейшие антропогенные газообразные загрязнители воздуха**

Процессы горения	Окислы азота $\text{NO}_x$ : $\text{NO}_2$ , $\text{N}_2\text{O}_3$ , $\text{N}_2\text{O}_4$
Животноводческие комплексы, навозная жижа, производство азотных удобрений	Аммиак $\text{NH}_3$
Электролиз с выделением хлора, оцинкование, калийная промышленность, сжигание отходов, полихлорвинила, бурого угля с повышенным содержанием солей	Хлористый водород $\text{HCl}$ Хлор $\text{Cl}_2$
Предприятия фтористых химикатов, заводы фосфорных удобрений, алюминиевые заводы, цеха травления стекла, кирпичные заводы, керамическая промышленность, потребление угля	Фтористый водород $\text{HF}$ Тетрафторид кремния $\text{SiF}_4$
Выхлопные газы, химическая промышленность	Соединения свинца
Образуются из выхлопных газов при особых метеоусловиях	Фотоокислители: озон – $\text{O}_3$ , ПАН – пероксиацилнитрат
АЭС, ядерные взрывы, обогатительные фабрики	Радиоактивные вещества

Источники загрязнения атмосферы промышленными выбросами могут быть классифицированы по следующим признакам:

## 1. По назначению:

- технологические, т. е. содержащие «хвостовые» газы после улавливания на установках;
- вентиляционные, в том числе общеобменная вытяжка.

## 2. По месту расположения:

- незатененные или высокие;
- затененные или низкие;
- наземные, находящиеся вблизи земной поверхности.

## 3. По геометрической форме

- точечные (трубы, шахты);
- линейные (открытие окна и др.).

## 4. По режиму работы:

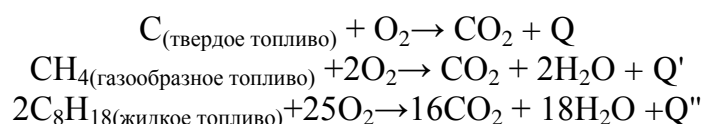
- непрерывного действия;
- периодического действия;
- залповые (за короткий промежуток времени в воздух поступает большое количество вредных веществ – при авариях, при сжигании быстрогорящих отходов на специальных площадках;

- мгновенные: загрязнения выбрасываются в доли секунды, иногда на значительную высоту. Они происходят при взрывных работах и аварийных ситуациях.

#### 5. По дальности распространения:

- внутриплощадочные (загрязнение воздуха происходит только в районе промышленной площадки, не достигая жилых районов);
- внеплощадочные, когда выбрасываемые в атмосферу загрязнения способны создавать высокие концентрации (порядка ПДК для воздуха населенных пунктов) на территории жилого района.

Загрязняющие воздух вещества – это в значительной мере продукты сжигания топлива: угля, бензина, природного газа и др., а также отходов различной природы. При полном их сгорании образуются углекислый газ, вода и выделяется тепло.



Однако окисление редко проходит до конца. В результате этого в воздух поступают следующие загрязнители:

#### • **Производные углерода**

1. Состоящие из углерода частицы. Их взвесь (аэрозоль) мы наблюдаем как дым.

2. Углеводороды  $C_mH_n$ , т. е. молекулы или фрагменты непрореагировавшего топлива.

3. Угарный газ CO – не полностью окисленный углерод. Угарный газ в организме человека вступает в реакцию с гемоглобином, образуя карбоксигемоглобин, который блокирует доступ кислорода в ткани. Способность CO реагировать с гемоглобином примерно в 210 раз выше, чем у кислорода. Проявления – усталость, вялость, сонливость, головная боль, а при больших концентрациях – смерть. Вдоль магистралей концентрация CO примерно 100 миллионных долей, при курении вдыхается примерно 400.

4. Углекислый газ  $CO_2$  – продукт полного сгорания.

#### • **Производные азота**

Оксиды азота возникают из-за того, что процесс горения происходит в воздухе на 21 % состоящем из кислорода и 78 % – из азота.

1. Часть азота  $N_2$  при высоких температурах окисляется до монооксида (NO).

2. NO немедленно вступает в реакцию с кислородом с образованием диоксида азота  $\text{NO}_2$  и/или тетраоксида  $\text{N}_2\text{O}_4$ .

Все эти соединения объединяют под одним названием – оксиды азота  $\text{NO}_x$ . Буроватый оттенок фотохимического смога обусловлен преимущественно  $\text{NO}_2$ , он же поглощает свет – видимость уменьшается.

• ***Примеси и добавки***

Топливо и отходы могут содержать примеси и добавки, которые попадают в воздух при сгорании, например, сера окисляется до  $\text{SO}_2$ . Могут быть также примеси тяжелых металлов, в частности свинца, кадмия.

Перечисленные выше продукты сгорания называют **первичными** загрязнителями воздуха. Они могут вступать в атмосфере в дальнейшие реакции, давая **вторичные** продукты такие как озон, ПАН (пероксиацилнитрат), серная и азотная кислоты, взвеси, которые адсорбируют (прикрепляют к поверхности) другие загрязнители. Изменение содержания приземного озона является показателем общего ухудшения качества атмосферы. Здесь озон – продукт фотохимических реакций загрязняющих атмосферу соединений и один из главных компонентов и наиболее характерный индикатор фотохимического смога.

## **2.2. Экологические проблемы, связанные с движением автомобильного транспорта**

### ***1. Химическое загрязнение окружающей среды***

При движении автомобиля в атмосферу попадают вышеперечисленные продукты сжигания топлива.

При производстве бензина в качестве антидетонатора добавляли тетраэтилсвинец, а для выноса соединений свинца из карбюратора в бензины добавляли галогенуглеводороды. С выхлопными газами в атмосферу выбрасывается в виде аэрозоля примерно 70 % введенного в топливо свинца в виде оксидов и галогенидов. Из этого количества 30 % соединений свинца осаждается на дорожное полотно, а остальная часть – рассеивается в атмосфере и осаждается вблизи дорог.

При движении автотранспорта в окружающую среду поступают также соединения кадмия. Им свойственно аккумулироваться в окружающей среде – почве – растениях – животных (человек), они поступают в организм через дыхательные пути, с пищей и водой.

Автомобиль – сильный загрязнитель водоемов нефтепродуктами. Подсчитано, что 1 л нефти может сделать непригодной для питья несколько тысяч литров воды.

## ***2. Тепловое загрязнение и вклад в изменение климата в городе***

В городских условиях автомобиль является источником согревания окружающего воздуха. Если в городе одновременно движутся 100 тыс. автомобилей, то это сравнимо с эффектом, производимым 1 млн. литров горячей воды. Отработанные газы, содержащие теплый водяной пар, вносят свой вклад в изменение климата города: нагретый пар усиливает перенос тепла движущейся средой (термическая конвекция), в результате чего количество осадков над городом возрастает.

### ***3. Шумовое загрязнение***

### ***4. Засоление почв***

Широкое применение соли для борьбы с гололедом на автомобильных дорогах ведет к сокращению срока службы автомобилей, вызывает неожиданные изменения в придорожной флоре. Так, в Англии отмечено появление вдоль дорог растений, характерных для морских побережий.

***5. Накопление отходов в связи с утилизацией отработанных автомобилей.***

## **2.3. Фотохимический смог**

Результатом загрязнения воздуха больших городов является фотохимический смог. Он представляет собой пелену дыма, тумана и пыли, возникающую вследствие загрязнения воздуха газовыми отходами производства, выхлопными газами автомобилей и продуктами их химического взаимодействия при воздействии солнечного света.

Таким образом, основными условиями возникновения фотохимического смога являются следующие:

- аэрозольное и газовое загрязнения атмосферы в промышленных районах, в местах с интенсивным транспортным движением;
- низкое содержание кислорода;
- большое содержание угарного газа CO;
- присутствие сотен других токсичных веществ.

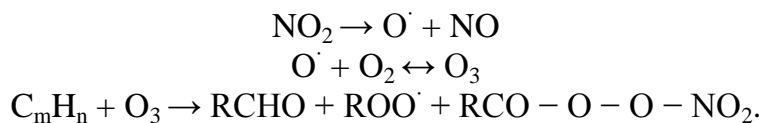
Известны 3 разновидности фотохимического смога.

**1. Фотохимический** (сухой, Лос-Анджелесского типа) или окислительный – это пелена едких газов и аэрозолей повышенной концентрации (без тумана), возникающая под действием УФ-радиации. Основные его компоненты – озон, угарный газ, окислы азота, углеводороды, ПАН и некоторые другие.

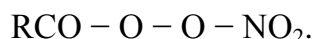
Фотохимический окислительный смог возникает при наличии в воздухе оксидов азота  $\text{NO}_x$  при ясной солнечной погоде. В солнечные без-



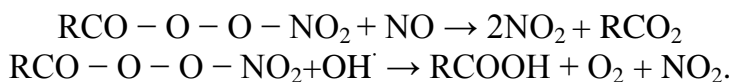
ветренные дни между компонентами смога ( $\text{NO}_x$  и углеводородами выхлопных газов, например) происходят фотохимические превращения:



Последняя реакция приводит к озонированию олефинов, присутствующих в выбросах двигателей внутреннего сгорания, с образованием альдегидов и пероксидных радикалов, преобразующихся в дальнейшем в разнообразные вещества, в том числе в пероксиацилнитраты (ПАН):



Это соединение не очень устойчиво и вступает в дальнейшие реакции с окислами азота:



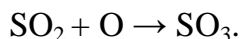
ПАНы раздражают слизистую оболочку дыхательных путей и глаз, вызывая резь и слезы. Кроме того, они подавляют процесс фотосинтеза растений, из-за чего в городах, где бывает смог, зелень чахнет, а в окрестностях погибают сельскохозяйственные культуры.

Другим раздражающим глаза веществом, присутствующим в смоге, является пероксибензоилнитрат – ПБН, имеющий структуру



**2. Влажный** (Лондонского типа) или восстановительный – это сочетание густого тумана с примесью газообразных загрязнителей – дыма и газовых отходов производства, прежде всего диоксида серы, а также пылевых частиц. Он характерен для промышленных районов с частыми туманами, которые препятствуют рассеиванию дымовых продуктов сгорания. Основным его компонент – диоксид серы.

Фотодиссоциация диоксида серы затруднена, т. к. она отмечается лишь при длинах волн короче тех, которые достигают нижних слоев атмосферы. Однако в присутствии окислов азота происходит их превращение с образованием атомарного кислорода и озона. Таким образом, диоксид серы может реагировать с атомами кислорода по реакции



Эффективность этой реакции возрастает по мере роста отношений концентраций  $\text{SO}_2/\text{NO}_2$

**3. Ледяной** (Аляскинского типа) – это сочетание газообразных загрязнителей, пылевых частиц и кристалликов льда, возникающих при замер-

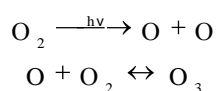
зании капель тумана и пара отопительных систем (возможно наблюдать в морозную безветренную погоду вблизи ТЭЦ)

Смог усиливается при определенных погодных условиях, особенно при температурной инверсии, когда слой холодного воздуха над землей перекрыт теплым. Это происходит когда холодный воздух "подтекает" под теплый. В результате восходящее движение воздуха, уносящее загрязняющие вещества, блокируется, и они накапливаются над землей.

Рельеф местности может усиливать смог, как, например, в Мехико и Лос-Анджелесе, где окружающие горы препятствуют горизонтальному оттоку загрязнителей.

## 2.4. Разрушение озонового слоя

В верхних слоях атмосферы расположена озоновая оболочка – озоносфера. При этом примерно 80 % всего озона планеты сосредоточено в стратосфере (15–30 км). Озон в стратосфере – это продукт воздействия УФ-излучения на молекулы кислорода:



В обычных условиях существует равновесие между процессом образования озона и его распада.

Разрушение озонового слоя обнаружено в конце 70-х начале 80-х над Антарктидой и Арктикой. Причем, уменьшение концентрации озона более заметно в начальные периоды полярного дня.

Участки пространства, на которых содержание озона уменьшается в 1,3–2,5 раза по отношению к климатической норме, называют **озоновыми дырами**.

Самой большой и известной является антарктическая дыра, наблюдаемая регулярно весной на площади более 20 млн. кв. км в течение 2,5 месяцев.

В Северном полушарии обычно образуются "мини-дыры" площадью до 1 млн. кв. км, которые неожиданно возникают, перемещаются преимущественно с запада на восток и почти также быстро исчезают.

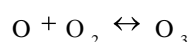
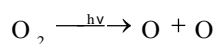
К настоящему времени отмечается расширение "озоновых дыр" над полюсами. Причины их возникновения пока не совсем ясны. Однако, можно утверждать, что это связано с человеческой деятельностью, в частности, с загрязнением атмосферы веществами, реагирующими с озоном.

### **Основные причины разрушения озонового слоя:**

1. Хлорфторуглеводороды – легко испаряющиеся вещества, применяемые в качестве наполнителей аэрозольных баллонов, при тушении пожаров, в холодильной технике, в кондиционерах, при производстве пористых пластмасс, в электронной промышленности – для очистки компьютерных микросхем и др.

В приземных условиях эти вещества инертны, очень летучи, нерастворимы в воде, а, следовательно, не вымываются из атмосферы.

Однако уже в верхних слоях тропосферы они подвергаются химическим превращениям под воздействием коротковолнового УФ-излучения, в результате которых высвобождается атомарный хлор, который разрушает озон циклически:



2. Окислы азота, подвергаясь аналогичным воздействиям, могут превращаться в реагирующие с озоном компоненты. В то же время окислы азота  $\text{NO}_x$  могут нарушать описанный выше цикл с участием хлора:  $\text{NO}_2$ , соединяясь с  $\text{ClO}$ , выводит его из круговорота, образуя нитрат хлора  $\text{ClONO}_2$ .

3. Летательные аппараты:

- нарушение естественных циркуляций воздуха – продукты неполного сгорания топлива могут разрушать озоновый слой;
- выбросы окислов азота и паров воды реактивными двигателями высотной авиации и космонавтики.

4. Другие источники:

- ядерные взрывы;
- вулканические извержения;
- разложение минеральных удобрений.

## **2.5. Парниковый эффект**

Главной причиной возникновения антропогенного парникового эффекта считается рост в атмосфере содержания некоторых малых газовых составляющих, которые часто называют парниковыми газами:

- углекислого газа (вклад в парниковый эффект 98 %) и остальные (вклад – 2 %):
- закиси азота,
- метана,

- окиси углерода,
- фреонов,
- галогенпроизводных углеводородов,
- тропосферного озона.

В обычных условиях задержка тепла атмосферой – основное условие сохранения энергетического баланса Земли. Примерно 30 % энергии, поступающей от Солнца, отражается от облаков, либо от частиц, либо от поверхности Земли. Остальные 70 % поглощаются Землей, поскольку безоблачная атмосфера, содержащая углекислый газ, сравнительно мало задерживает солнечную радиацию видимого диапазона и поглощает длинноволновое ИК-излучение. Поглощенная Землей энергия переизлучается в ИК-диапазоне поверхностью планеты и атмосферой, которая нагревается также восходящими потоками воздуха и теплом, выделяющимся при образовании облаков. Из-за того, что большая часть обратного излучения не пропускается парниковыми газами и возвращается к поверхности, на Земле теплее, чем было бы в отсутствие этого процесса.

Деятельность человека значительно повысила атмосферные концентрации газов с парниковым эффектом, тем самым, нарушив радиационный баланс Земли.

Глобальное потепление, вызванное парниковым эффектом, уже началось – сегодня средняя температура на планете на 0,6 градуса выше, чем 100 лет назад. При сохраняющихся темпах использования ископаемого топлива, с одной стороны, и вырубки лесов, с другой, средняя температура на планете к 2100 году может повыситься на 6 градусов.

Избыток  $\text{CO}_2$  в биосфере поглощается фотосинтезирующими растениями. В настоящее время это равновесие нарушается, поскольку вырубаются леса на огромных территориях. Важным регулятором содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере являются моря и океаны. Однако загрязнение порядка 1/3 площади акватории привело к нарушению этой функции.

Подсчитано, что увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере примерно в 2 раза может привести к повышению средней температуры земной поверхности на 2–4 °С, которое вызовет значительные изменения климата целых регионов.

Выбросы других парниковых газов значительно меньше, чем углекислого газа. Суммарно они составляют 2 %, однако они поглощают в 50–100 раз сильнее ИК-излучение, чем углекислый газ. Наиболее значимым среди них является метан. Основные источники поступления его в атмосферу – животноводство, нефтяные газовые системы, бытовые и промышленные отходы.

Последствия повышения температуры могут вызвать следующие явления:

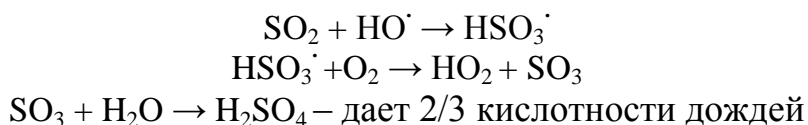
- таяние ледников и вызванный этим подъем уровня Мирового океана на 5–7 метров, что приведет к затоплению суши и гибели около 1 млрд. человек;
- могут произойти изменения в видовом составе: вымрут одни сообщества, появятся другие — более теплолюбивые;
- расширение границ регионов, в которых заболевают малярией и др.

## 2.6. Выпадение кислотных дождей

В большинстве выбросов из антропогенных источников первичным продуктом является оксид азота, который, реагируя с озоном и радикалами  $\text{HO}\cdot$  переходит в диоксид азота. Образование азотной кислоты в газовой фазе происходит в результате протекания следующей реакции:



Газообразная серная кислота образуется из диоксида серы также с участием гидроксильного радикала



В ходе газофазных окислительных реакций кроме азотной и серной кислот образуются органические кислоты – преимущественно муравьиная ( $\text{HCOOH}$ ) и уксусная ( $\text{H}_3\text{C}-\text{COOH}$ ).

рН дождей в основном около 4,5. В отдельных случаях рН дождя может быть гораздо ниже, а туман и роса бывают более кислыми, чем дождь. Так, туман в районе Лос-Анджелеса в 80-х годах имел значения  $\text{pH} \sim 2,3\text{--}3$ . Сильные дожди обычно менее кислые, чем слабые.

Возможны также сухие кислотные отложения, которые накапливаются на поверхности растений и почвы. При выпадении росы или небольшом смачивании они дают сильные кислоты.

Последствия выпадения кислых дождей для окружающей среды могут быть следующими:

- гибель растительности или угнетение процессов фотосинтеза;
- гибель некоторых видов обитателей водоемов;
- случаи «алюминиевой болезни» гидробионтов;
- постепенное разрушение мраморных изделий и памятников архитектуры;
- ржавление железных и железобетонных изделий.

## 2.7. Аэрозольное загрязнение атмосферы

Аэрозоли – это твердые или жидкие частицы, обладающие малыми скоростями осаждения и находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе. Они различаются по размерам, составу и др. характеристикам, определяющим их физические или химические свойства, а также по степени взаимодействия с окружающей средой. Размеры аэрозолей варьируют от тысячных долей до сотен микрон.

Аэрозоли делят на первичные, т. е. непосредственно поступающие в атмосферу, и вторичные, являющиеся результатом их превращений. Например, газообразные (сернистый ангидрид, оксиды азота и др.) в результате химических реакций с кислородом, водяным паром и т. п. соединениями могут образовывать вещества в твердом или жидком состоянии – вторичные аэрозоли.

Распределение аэрозолей в атмосфере неоднородно: максимальное содержание обычно наблюдается в районах источников их образования. Вертикальное распределение аэрозолей зависит от их дисперсности, которая существенно определяет время жизни аэрозолей в атмосфере, т. е. продолжительность нахождения их в воздухе до выпадения на землю. Более крупные частицы сосредотачиваются в слое воздуха толщиной до 1 км (время их существования здесь не более 2–3 суток). Выше, в слое толщиной до 10 км, содержатся мелкие частицы со временем жизни 5–30 суток. Фоновое содержание их быстро уменьшается с увеличением высоты. Частицы размером от 0,01 до 0,1 мкм не оседают, т. к. броуновское движение превышает гравитационные силы. Частицы от 0,5 до 5 мкм наиболее опасны для легких человека, более крупные – задерживаются в полости носа, более легкие – не оседают в дыхательных путях, а удаляются при выдохе.

В запыленности атмосферы существенную роль играют твердые частицы естественного происхождения. Они поступают в тропосферу при извержении вулканов, сгорании метеоритов, пылевых бурях, при лесных и степных пожарах. Штормовые ветры срывают с гребней волн капельки морской воды, насыщенной солями хлоридов и сульфатов. Периодическое загрязнение воздуха создают частицы растительного происхождения. Во время массового цветения растений в воздухе находится значительное количество пыльцы. Споры грибов, мхов, лишайников и папоротников после созревания и при сухой погоде также разносятся воздушными потоками. Насыщение воздуха частицами растительного происхождения могут быть причиной аллергических заболеваний. В воздухе густонаселенных мест может также содержаться повышенное количество бактерий.

Примером биологического загрязнения окружающей среды является производство белок-содержащих кормовых добавок для животноводства на заводах белково-витаминных концентратов (БВК – паприн, гаприн, эприн и др.) путем выращивания дрожжей на очищенных парафинах нефти. Технология производства этих веществ не является безопасной для окружающей среды и в первую очередь для человека. Плохая очистка приводит к выбросам веществ белковой природы в виде аэрозолей и пыли в воздух, воду, почву. В процессе производства кормового белка из углеводного сырья специфические газо-воздушные и жидкие выбросы (они представлены в основном клетками гриба-продуцента, белковой пылью, азотом, фосфором, калием и др.) образуются на стадии ферментации, сепарации, сушки, промывки оборудования. Ситуация усугублялась тем, что пыль БВК и некоторые химические вещества обладают синергизмом при совместном действии.

## **2.8. Источники загрязнения гидросферы**

Загрязнения, поступающие в водную среду, классифицируют по-разному, в зависимости от подходов, критериев и задач. Обычно выделяют химическое, физическое и биологическое загрязнения.

**Химическое** загрязнение представляет собой изменение естественных химических свойств воды за счет увеличения содержания в ней вредных примесей неорганической (минеральные соли, кислоты, щелочи, глинистые частицы) и органической природы (нефть и нефтепродукты, органические остатки, поверхностно-активные вещества, пестициды и т. п.).

**Физическое** загрязнение связано с изменением физических параметров водной среды и определяется тепловыми, механическими, радиоактивными примесями.

**Биологическое** загрязнение заключается в изменении свойств водной среды в результате увеличения количества не характерных ей видов микроорганизмов, растений и животных (бактерий, грибов, простейших, червей), привнесенных извне.

***Основными источниками загрязнения природных вод являются:***

1. Атмосферные осадки, несущие массы вымываемых из воздуха загрязнителей промышленного происхождения. При стекании по склонам атмосферные и талые воды дополнительно увлекают за собой массы веществ.

2. Городские сточные воды, включающие преимущественно бытовые стоки.

3. Промышленные сточные воды, образующиеся в самых разнообразных отраслях производства, среди которых наиболее активно потребля-

ют воду черная металлургия, химическая, лесохимическая, нефтеперерабатывающая промышленности.

4. Сточные воды крупных животноводческих комплексов, содержащие большие количества органики; талые и атмосферные воды вблизи складов удобрений и ядохимикатов. Сточные воды содержат массу биогенных элементов, в том числе азота и фосфора. В результате происходит массовое размножение фитопланктона, интенсивное развитие высших водных растений.

Среди названных источников загрязнения природных вод особую опасность представляют **промышленные сточные воды**.

Отработанная вода промышленного предприятия, удаляемая с предприятия или направляемая с целью очистки, называется **сточной**.

Сточные воды, отводимые с территории промышленных предприятий, условно разделяют на 3 вида:

- производственные, т. е. использованные в технологическом процессе производства или получающиеся при добыче полезных ископаемых (угля, нефти, руд и т. п.);
- бытовые, например, от санитарных узлов производственных и непроизводственных корпусов и зданий, а также от душевых установок, имеющих на территории промышленных предприятий;
- атмосферные – дождевые или от таяния снега.

С другой стороны производственные сточные воды делятся на загрязненные и незагрязненные (условно чистые).

Загрязненные производственные сточные воды содержат различные примеси и подразделяются на 3 группы:

- загрязненные преимущественно минеральными примесями (стоки заводов, производящих минеральные удобрения, кислоты, строительные материалы и изделия и др.);
- загрязненные преимущественно органическими примесями (стоки предприятий химической и нефтехимической промышленности, производящих полимерные пленки, пластмассы, каучук и др.);
- загрязненные минеральными и органическими примесями (стоки предприятий нефтеперерабатывающей промышленности, нефтехимической промышленности, производящих продукты органического синтеза и др.).

По концентрации загрязняющих веществ производственные сточные воды делят на 4 группы:

- 1 – менее 500 мг/л
- 2 – 500-5000 мг/л
- 3 – 5000-30000 мг/л



- 4 – более 30000 мг/л

По степени агрессивности промышленные сточные воды делятся на:

- неагрессивные – рН 6,5–8,0
- слабоагрессивные – рН 6–6,5 и 8–9
- сильноагрессивные – рН меньше 6 и больше 9

Самыми токсичными и экологически опасными являются следующие загрязнители природных вод:

- пестициды;
- синтетические органические вещества (в том числе ПАВ);
- нефтепродукты;
- кислотные осадки;
- минеральные удобрения, в первую очередь – азотные;
- отходы сельскохозяйственных и промышленных предприятий;
- аварии.

Одними из распространенных и весьма опасных загрязнителей воды являются нефть и нефтепродукты. В мировом масштабе – это основные загрязнители поверхностных вод суши. Нефть и нефтепродукты поступают в водную среду:

- в результате естественных выходов нефти в районах залегания,
- при нефтедобыче,
- при транспортировке,
- при переработке,
- при использовании в качестве топлива и промышленного сырья.

С увеличением добычи нефти растут ее потери в процессе транспортировки, при переработке и применении. Ежегодные поступления нефти в Мировой океан достигли в настоящее время 25–30 млн. т/год. 1 тонна нефти загрязняет акваторию площадью 12 кв. км. При попадании в водоемы нефть и нефтепродукты образуют плавающую на поверхности воды пленку, частично растворяются, создают устойчивую эмульсию, оседают на дно водоема. Все это затрудняет доступ кислорода в воду, уменьшает проникновение солнечного света, а, следовательно, уменьшается фотосинтетическая активность фитопланктона.

При концентрации нефтепродуктов в водоеме 0,05–0,1 мг/л погибает икра и молодь рыб, при концентрации 0,1–1,0 мг/л погибает планктон, а концентрация 10–15 мг/л является смертельной для взрослых особей рыб. При концентрации 0,05–0,5 мг/л и более в водоеме рыба приобретает неприятный керосиновый запах. Пары нефти и нефтепродуктов при концентрации 10 мг/м<sup>3</sup> и более в воздухе (ПДК<sub>р.з.</sub>) вызывает у человека заболевание органов дыхания и центральной нервной системы, повышенную утомляемость.

В окружающей среде нефтепродукты постепенно окисляются аэробными бактериями до безвредных веществ. В водоеме процесс самоочищения протекает при наличии достаточного количества кислорода и только в теплое время года, причем, продолжается длительное время. Так при исходной концентрации нефтепродуктов 1 г/л процесс самоочищения водоема завершается через 20–30 суток. При температуре воды ниже 5–10 °С бактериальное разложение нефтепродуктов практически приостанавливается.

**Синтетические поверхностно-активные вещества (ПАВ)** – находят все более широкое применение в промышленности, на транспорте, в коммунально-бытовом хозяйстве. Ежегодно производится около 4 млн. тонн ПАВ. Концентрация этих соединений в сточных водах составляет 5–15 мг/л (ПДК в водоемах рыбо-хозяйственного пользования 0,1 мг/л). Они плохо подвергаются очистке. В водоемах образуют толстый слой пены, который на порогах и шлюзах может достигать высоты до 1 м; способность к пенообразованию проявляется уже при концентрации 1–2 мг/л.

Особой токсичностью обладает **ртуть**. Источником ртути в водной среде могут быть шахты, металлургические заводы, предприятия по производству щелочи и хлора, а также по производству этилена и красителей, топочные устройства и др. Биоаккумуляция ртути в тканях рыб наблюдается и в водных массивах, удаленных от промышленных производств. В этом случае она связана с выветриванием минералов, геотермальной и вулканической деятельностью. Закисление озерной воды приводит к ускоренному накоплению ртути в тканях рыб. Ртуть может накапливаться в почве в результате применения ртутьсодержащих ядохимикатов. В помещениях источником ртути может стать разбитая люминесцентная лампа (лампа дневного света). Каждая такая лампа содержит около 150 мг паров ртути.

Опасность загрязнения природных сред усугубляется тем, что загрязнители, мигрируя по пищевой цепи гидробионтов, концентрируются в них при переходе от одного трофического уровня к другому, так что часто содержание загрязнителя в тканях на несколько порядков превышает содержание его в окружающей водной среде. Для характеристики этого процесса вводят так называемый коэффициент накопления – это отношение содержания вещества в тканях хищника к содержанию в тканях жертвы или к содержанию в окружающей среде. Накопление загрязнителя обусловлено следующими причинами. Для построения единицы массы некоторого трофического уровня организмы этого уровня должны потреблять в среднем десятикратное количество пищи. Вместе с этим

количеством пищи организмы потребляют соответствующее количество токсического вещества, уже накопленного. Из пищи усваивается только часть массы и почти все количество токсиканта. Аналогичная передача пойдет и на следующий трофический уровень.

Например, накопление ДДТ в компонентах пищевой цепи болота Южной Флориды (США) характеризовалась следующими данными: вода (0,02 мкг/кг) – перифитон (7 мкг/кг) – донный грунт (16 мкг/кг) – раки (23 мкг/кг) – рыбы (190 мкг/кг) – аллигатор (352 мкг/кг) – яйца хищных птиц (16500 мкг/кг).

Способность к накоплению по пищевой цепи проявляют медь, хлорорганические соединения, ртуть, некоторые радионуклиды.

Для характеристики качества воды используют индекс загрязненности вод

$$\text{ИЗВ} = (\sum_{i=1}^6 C_i / \text{ПДК}_i) / 6,$$

где  $C_i$  – концентрация таких ингредиентов, как растворенный кислород, БПК<sub>5</sub>, азот аммонийный, нитратный, нефтепродукты, фенол – всего не менее 6 показателей). Вода считается чистой, если ИЗВ меньше или равен 1.

## 2.9. Источники загрязнения почв

Почва – основное средство производства в сельском хозяйстве. Главная экологическая роль почвы состоит в обеспечении растений водой и химическими элементами. Кроме того, она является средой обитания для многих живых организмов.

Быстрый рост населения на земном шаре требует увеличения сельскохозяйственной продукции. Эту задачу можно решить несколькими способами:

- увеличением урожайности,
- освоением новых земель (имеет ограниченные пределы).

Загрязнение почвы, а, следовательно, потеря плодородия, вызывается различными по масштабу и по территориальному размаху явлениями и проявляется в основном в 2-х формах:

1. Физическое изменение.
2. Химическое загрязнение.

Физическое изменение почв связано, прежде всего, с механически действующими агентами. Причинами физических нагрузок на почвы являются:

- а) Прямые механические воздействия:

- выпашивание (может приводить к эрозии почв). Почва значительную часть времени становится незащищенной от ветра;
- перевыпас (трава съедается быстрее, чем может возобновляться, обнажается пахотный слой);
- сведение лесов (для освоения новых земель, получения древесины для строительства, для топлива);
- повышенное давление на поверхность почвы транспорта, сельскохозяйственной техники, вытаптывание;
- некоторые агротехнические мероприятия.

б) Процессы, связанные с перемещением почвы:

- водная, ветровая эрозии;
- различные отложения, например, вследствие промышленных выбросов, отвалы;
- мелиорация, разработка карьеров, добыча полезных ископаемых.

Химическое загрязнение почв значительно превосходит как в количественном, так и качественном отношении все виды ее физического изменения. Исходя из агрегатного состояния (газообразное, жидкое и твердое) и способа действия химических загрязнителей, их можно разделить на следующие группы:

- газы, особенно содержащие серу промышленные выбросы, галогениды, окислы азота в виде твердых и жидких осадков (кислотные дожди), они могут приводить к закислению почв;
- пыль, в первую очередь, зола, известковая пыль, тяжелые металлы, они могут приводить к сдвигу рН почвенного раствора в нейтральную и основную области, к накоплению тяжелых металлов в почве;
- соли, переносимые воздухом и водой при добыче полезных ископаемых, при посыпании зимой улиц для удаления льда и др., они приводят к засолению почв;
- агрохимикаты (средства защиты растений, удобрения) приводят к загрязнению почв, растений и пищевых продуктов;
- органические газы и жидкости (продукты ископаемых видов топлива);
- радиоактивные осадки.

Существуют следующие источники загрязнения почв:

1. Промышленные предприятия.

В отходах металлургической промышленности, например, присутствуют соли цветных и тяжелых металлов. Машиностроительная промышленность выводит в окружающую среду цианиды, соединения мышьяка, бериллия. При производстве пластмасс и искусственных волокон образуются отходы бензола, фенола.

## 2. Теплоэнергетика.

Помимо образования массы шламов при сжигании каменного угля с теплоэнергетикой связано выделение в атмосферу сажи, несгоревших частиц, окислов серы, в конечном итоге оказывающихся в почве.

## 3. Сельское хозяйство.

Основными загрязнителями почвы являются удобрения, а также ядохимикаты (пестициды), применяемые в сельском и лесном хозяйстве для защиты растений от вредителей, болезней и сорняков.

## 4. Транспорт.

При работе двигателей внутреннего сгорания в автомобильном транспорте в окружающую среду выделяются оксиды азота, свинец, углеводороды и другие вещества, оседающие на поверхность почвы или поглощаемые растениями, оказываясь, в конечном счете, также в почве.

## 5. Жилые дома и бытовые предприятия.

В числе загрязняющих почву веществ преобладают бытовой мусор, пищевые отходы, строительный мусор, пришедшие в негодность предметы домашнего обихода, мусор общественных учреждений: больниц, столовых, гостиниц, магазинов и мн. др.

Самоочищение почв практически не происходит или происходит очень медленно. Токсичные вещества накапливаются, что способствует постепенному изменению химического состава почв. Из почвы токсичные вещества могут попасть в организмы животных и людей по пищевым цепям.

### ***Пестициды***

Пестициды – это большая группа химических препаратов, применяемых в сельском и лесном хозяйстве для борьбы с вредителями и болезнями растений и животных, с сорняками, для регулирования роста и развития сельскохозяйственных культур, в медицине и т. д.

Первоначально для борьбы с вредителями использовали вещества, содержащие тяжелые металлы – свинец, ртуть, мышьяк. Эти неорганические соединения часто называют пестицидами 1 поколения.

Пестициды 2 поколения синтезированы на основе синтетических органических соединений, например, фосфорорганические, хлорорганические. Наиболее опасными являются хлорорганические, в частности, ДДТ, – в связи с тем, что могут накапливаться по пищевым цепям, кроме того, один из продуктов разложения – диоксин, представляет большую опасность.

В зависимости от объекта воздействия и химической природы пестициды делят на:

Гербициды – предназначены для уничтожения сорняков (могут быть сплошного и избирательного действия);

Инсектициды – для уничтожения вредных насекомых;

Зооциды – для борьбы с грызунами (мышами, крысами, сусликами);

Фунгициды – для борьбы с возбудителями грибковых заболеваний;

Бактерициды – для борьбы с возбудителями бактериальных заболеваний;

Лимакиды – для борьбы с моллюсками (слизни и др.);

Дефолианты – предназначены для удаления листьев;

Десиканты – для высушивания листьев на корню;

Дефлоранты – для удаления лишних цветков завязей;

Ретарданты – регуляторы роста и развития растений;

Репелленты – для отпугивания насекомых, грызунов и др. животных;

Аттрактанты – для привлечения насекомых с последующим их уничтожением.

Основную опасность для окружающей среды представляют 3 класса пестицидов – инсектициды (наиболее опасные), фунгициды, гербициды.

Во всем мире в расчете на душу населения приходится 400–500 г химических препаратов различного назначения, а в США и бывшем СССР по 2 кг. В районах интенсивного земледелия эти величины могут достигать 50 кг.

Утилизация пестицидов в окружающей среде осуществляется за счет фотохимического разложения в воздухе и воде, на поверхности растений, при участии гидробионтов, почвенной флоры и фауны и т. д.

Нестойкие пестициды сохраняются в окружающей среде в течение 1–12 недель, средней стойкости 1–18 месяцев, стойкие – более 2-х лет.

Помимо этого к основным проблемам, связанным с использованием пестицидов можно отнести также развитие устойчивых рас вредителей; распространение других видов вредителей, естественные враги и конкуренты которых были уничтожены пестицидами.

Это в свою очередь требует внесения пестицидов в больших концентрациях, расширения их ассортимента. В среднем в мировой практике пестициды применяют в количестве от 2 до 3 кг на га. Однако в реальных условиях эти значения могут достигать 12 кг и более.

В результате этого токсическое действие пестицидов стало проявляться в глобальных масштабах. Основными резервуарами накопления стойких пестицидов в конечном итоге являются почва и вода.

### ***Нитраты и нитриты***

Проблемой загрязнения почв, а, следовательно, и пищевых продуктов является избыточное поступление нитратов и нитритов в окружающую среду. Нитраты – соли азотной кислоты – это не синоним пестицидов, а элемент минерального питания растений, т. е. необходимый для их метаболизма компонент. Отсюда и различия в значениях предельно допустимых концентраций: для чужеродных растению пестицидов ПДК не превышает мг/кг продукта, а допустимое содержание нитратов – десятки и сотни мг/кг продукта. Так, например, в капусте допустимое содержание

дихлофоса – не более 0,05 мг/кг,

карбофоса – 0,5 мг/кг,

нитратов – 300,0 мг/кг.

Сами нитраты не отличаются высокой токсичностью. Поступая с пищей, они всасываются в пищеварительном тракте, попадают в кровь, а с ней – в ткани. Через 4–12 часов большая их часть выводится из организма через почки (до 80 % – у молодых людей, до 50 % – у пожилых). Остальное количество остается в организме.

Опасность представляют нитриты, образующиеся из нитратов в пищеварительном тракте, преимущественно микробиологическим способом. Их токсическое действие проявляется в форме метгемоглобинемии – нитриты переводят двухвалентное железо гемоглобина крови в трехвалентное. Образуется метгемоглобин, который не способен переносить кислород. Избыточные нитриты, кроме того, участвуют в образовании в организме сложных соединений – нитрозоаминов, отнесенных к канцерогенам.

Основными причинами накопления нитратов в почве, а значит, в пищевых продуктах и питьевой воде являются следующие:

1. в небольших количествах нитраты находятся в окружающей среде, обуславливая круговорот азота в природе;

2. внесение органических и минеральных удобрений в повышенной концентрации, отходов, продуктов переработки сырья животного и растительного происхождения;

3. в регионах с развитой промышленностью из-за выбросов в атмосферу окислов азота нитраты могут накапливаться в дождевой воде;

4. в пищевой промышленности нитраты и нитриты используют в качестве пищевых добавок в продукты (колбасы, копчености и т. д.) для улучшения вкусовых показателей готовой продукции и увеличения сроков их хранения.

Различные растения обладают разной способностью к накоплению нитратов: наибольшей способностью к накоплению нитратов обладают зеленные культуры – укроп, салат, петрушка, и др., за ними идет свекла, далее капуста и морковь.

В разных тканях одного и того же растения отмечается различное содержание нитратов. Наибольшее количество – в тканях, обеспечивающих транспорт питательных веществ в растении. Так, в кожице и поверхностных слоях плодов содержание нитратов выше, чем в мякоти, в прикорневой зелени содержание нитратов выше, чем в корне, в верхних листьях капустного кочана примерно в два раза больше нитратов, чем во внутренних и т. д.

Рекомендациями по уменьшению поступления нитратов в организм человека могут быть следующие:

1. Сбор урожая лучше проводить во второй половине дня, не вносить избыточные дозы азотных удобрений под растения нитратонакопители.

2. При приготовлении пищи удалять те части овощей, в которых больше нитратов, при приеме пищи не комбинировать нитрофильные овощи и копчености и т. п.

### ***Тяжелые металлы в почве***

Свинец, кадмий, ртуть, хром, никель, ванадий и др. – практически постоянные компоненты воздуха промышленных центров.

Особенно остро стоит проблема загрязнения свинцом: в 1965 году свинца в воздухе было в 400 раз больше, чем до начала промышленной эры. Скелет американца конца 20 века содержал свинца в 700–1200 раз больше, чем скелет аборигенов. Содержание свинца в воздухе современных городов США, Канады, Японии, Англии, экс-СССР варьировало от 1–2 до 8–10 мг/м куб.

Другие тяжелые металлы (кадмий, мышьяк, ртуть, ванадий) поступают в окружающую среду при сжигании ископаемого топлива, выплавке цветных металлов, производстве ядохимикатов. Содержание кадмия вблизи промышленных предприятий может достигать 500 мкг/м куб.

Важными источниками поступления тяжелых металлов в почвы, а, следовательно, загрязнения пищевых продуктов и кормов, являются некоторые пестициды (например – ртутьсодержащие, свинец-, мышьяк-содержащие), а также минеральные удобрения – в первую очередь фосфорные. Длительное внесение больших доз фосфорных удобрений (прежде всего суперфосфата) может повлечь за собой повышение содержания в почве и продуктах растениеводства таких тяжелых металлов как кадмий, ртуть, свинец, хром, таллий, цинк, медь.



Кадмий попадает в окружающую среду также через воздух и воду при добыче и промышленной переработке сырья, при сгорании некоторых видов топлива, сжигании городских отходов, со сточными водами и т. д. Кадмий обладает способностью накапливаться в живых организмах при длительном воздействии пыли, а также веществ, содержащих повышенное количество металла.

Установлено, что кадмий практически не выводится из организма, а накапливается в печени. Воздействие даже незначительных концентраций кадмия может привести к серьезным заболеваниям нервной системы и костных тканей, например, выявлено тяжелое костное заболевание («итай-итай»), вызванное хроническим отравлением кадмием.

Внесение микроудобрений тоже может привести к загрязнению окружающей среды тяжелыми металлами. Так, внесение в норме 5 кг/га приводит к загрязнению почвы кадмием в концентрации 1 г/га.

Кроме этого следует отметить, что ионы таких металлов как цинк, никель, кадмий, хром, свинец используются для покрытий в гальвано- и лакокрасочной промышленности, и, следовательно, поступают в отходы. Ежегодно в окружающую среду сбрасывается до 50 тыс. тонн солей тяжелых металлов.

## **2.10. Экология города**

Для поддержания жизнеобеспечения крупного города необходимо, помимо разнообразных пищевых продуктов, поступление топлива, сырья, воды и т. п. Соответственно, функционирование различных производств, коммунально-бытового хозяйства и т. д. сопровождается выделением разнообразных по составу газообразных, жидких и твердых отходов. На рис. 4 представлены входящие и выходящие потоки, которые являются общими для всех городов.

Каждая характеристика дана в т/сутки для типичного города США с населением в 1 млн. чел. По объему поток воды значительно превосходит два других потока.

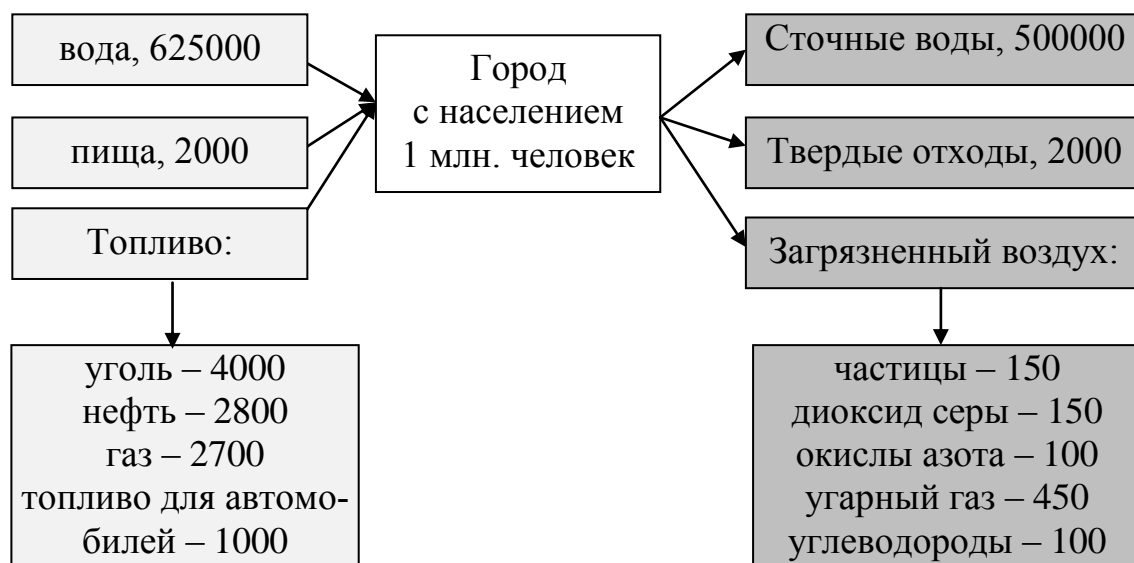


Рис. 4. Схема потоков в городской экосистеме

Загрязнение воздуха происходит главным образом за счет сжигания топлива. Большая часть загрязнителей воздуха (сажи и зольной пыли) образуется при сжигании на электростанциях. В качестве примера рассмотрим воздействие тепловой электроцентрали на окружающую среду.

Ископаемое топливо, извлекаемое из недр Земли (каменный уголь, нефть и природный газ) подается в топку парогенератора. Образующиеся в парогенераторе продукты сгорания передают часть тепла водяному пару, другая его часть вместе с продуктами сгорания ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ), а также оксиды металлов, мелкодисперсная зола и пары воды выбрасываются в атмосферу, загрязняя ее. Твердые продукты горения (шлак и зола) выводятся в золоотвалы, при этом из сельскохозяйственного пользования изымаются плодородные земли. В атмосфере газообразные продукты сгорания в результате вторичных химических реакций с участием кислорода и паров воды образуют кислоты, например, серную, а также различные соли.

Загрязняющие атмосферу вещества вместе с осадками (кислотные дожди) выпадают на поверхности почвы и водоемов, вызывая их химическое загрязнение. Работа электрогенератора, трансформаторных подстанций, потребителей электроэнергии (электромоторы и т. д.), а также передача по линиям электропередач (ЛЭП) сопровождается вредными физическими воздействиями на окружающую среду (шум, электромагнитное излучение). Сточные воды загрязнены нефтепродуктами, что также приводит к химическому загрязнению водоемов.

Предварительная очистка топлива, например, мазута от серы, позволяет значительно сократить загрязнение природной среды.

В общем случае состав промышленных отходов большого города с развитой промышленностью может быть, как показано на схеме, разнообразным.

**Рекреационная зона города.** Известно, что территория, окружающая город, находится в тесной функциональной связи и взаимозависимости с ним. Ее использование определяется интересами города и осуществляется в соответствии с ее потребностями. Для этого пригородная зона должна быть соответствующим образом организована и упорядочена. Согласно существующим нормам и правилам на территории, прилегающей к городу, необходимо организовать пригородные и зеленые зоны, предназначенные соответственно для поступательного развития города, размещения объектов его хозяйственного обслуживания, а также для отдыха населения, улучшения состояния воздушного бассейна, микроклимата, санитарно-гигиенических условий. Здесь рекомендуется располагать объекты рекреационного и оздоровительного профиля.

Глобальной экологической проблемой загрязнения окружающей среды в городах стали **коммунальные и бытовые отходы**, а проще говоря, мусор. По оценкам специалистов, в городах мира ежегодно образуются 400–450 млн. т бытовых отходов. В том числе на каждого жителя большого города приходится не менее 1 куб. м мусора в год или 250–700 кг бытовых отходов, в зависимости от региона. Это уже сопоставимо с потоками химических элементов в биологических круговоротах.

В США в процессе исследования выяснилось, что, в среднем, в одном домохозяйстве образуется 55–60 г/неделю опасных отходов. В год это 250–600 тонн для населенного пункта. При этом наиболее многочисленными категориями опасных отходов явились источники электропитания (батарейки) и ряд косметических средств, на третьем месте по распространенности – отходы бытовой химии. Опасные бытовые отходы, несмотря на сравнительно небольшие количества, наносят, как выяснилось, окружающей среде и здоровью населения такой же ущерб, как и промышленные опасные отходы. Список опасных бытовых отходов (по данным США, Канады) содержит 200 наименований, которые разделены на 8 категорий:

1. Средства бытовой химии, в том числе бытовые чистящие средства (для чистки кафеля, раковин, ванн и др.), для очистки и полировки дерева и металла (мастики, политура), дезинфектанты и др.
2. Лакокрасочные изделия – краски, растворители, клеи и т. д.
3. Автомобильные материалы – присадки к топливам и маслам, растворители жиров и ржавчины, охлаждающие жидкости, смазки общего назначения, радиаторные жидкости, автокосметика и др.

4. Садовые химикаты – пестициды, гербициды и др.
5. Лекарственные препараты.
6. Некоторые виды косметики, содержащие спирт, ацетон, растворители ароматических углеводов, этил- и бутилацетат, толуол, оксид ртути и др.
7. Источники электропитания.
8. Другие, а также элементы электронных схем, фотореактивы.

Можно назвать несколько причин увеличения количества мусора:

- рост производства товаров массового потребления одноразового использования;
- увеличение количества упаковочных материалов;
- повышение уровня жизни, позволяющее пригодные к использованию вещи заменять новыми.

В основном мусор отправляют на свалки, занимающие сотни и тысячи гектаров ценных земель в окрестностях крупных городов и загрязняющие воздух, воду в ближайших водоемах, почву.

Наибольшее распространение получили три способа ликвидации мусора:

- устройство специально оборудованных свалок;
- компостирование мусора;
- утилизация на мусороперерабатывающих заводах. Перед утилизацией осуществляется сортировка мусора по контейнерам.

Особо опасные для окружающей среды и здоровья людей отходы, которые по разным причинам нельзя уничтожать вместе с бытовым мусором, называются спецотходами, к которым отнесено примерно 600 особо опасных веществ. В их число входят:

1. пестициды, содержащиеся главным образом в отходах производства химических средств защиты растений;
2. радиоактивные отходы, образующиеся на предприятиях, использующих радионуклиды, атомных электростанциях;
3. ртуть и ее соединения – отходы химической промышленности;
4. мышьяк и его соединения, содержащиеся в отходах металлургических производств и тепловых электростанций;
5. соединения свинца, встречающиеся особенно часто в отходах нефтеперерабатывающей и лакокрасочной промышленности и др.

Каждый из нас ежедневно пользуется множеством объектов, которые после их использования также становятся спецотходами, например:

- батарейки;
- неиспользованные медикаменты;
- остатки химических средств защиты растений (ядохимикатов);

- остатки красок, лаков, антикоррозионных средств и клеев;
- остатки косметики (тени для век, лак для ногтей, жидкость для снятия лака);
- остатки средств бытовой химии (средства для чистки, дезодоранты, пятновыводители, аэрозоли, средства по уходу за мебелью);
- ртутные термометры.

Ликвидация (утилизация) жидких и твердых спецотходов регламентируется строгими правилами и нормами. Часть спецотходов сжигается на специальных установках, часть размещается на полигонах спецотходов.

## **2.11. Экология человека**

По определению ВОЗ здоровье населения следует понимать как «состояние полного физического, духовного социального благополучия, а не только как отсутствие болезни или физических дефектов».

В характеристику здоровья включают:

1. демографические показатели (рождаемость, смертность, мертворождаемость, средняя продолжительность жизни);
2. заболеваемость (общая, отдельных возрастных групп, инфекционная, неинфекционная, хронические, неспецифические заболевания и др.);
3. физическое развитие (всего населения или отдельных возрастных и профессиональных групп);
4. инвалидизацию.

Влияние состояния окружающей среды на здоровье может быть острым (смог, сжигание мусора) и хроническим (выделяют неспецифические заболевания и специфические, например, болезнь «итай-итай» – при отравлении кадмием, болезнь «минамата» – при отравлении ртутью, силикоз, лучевая болезнь и др.).

Факторы, оказывающие влияние на здоровье человека, можно условно разделить на:

1. Экзогенные – это режим труда и отдыха, климатические, геофизические и др. факторы.
2. Эндогенные – это генетические факторы, пол, возраст, особенности обмена веществ, черты характера, вредные привычки и т. д.
3. Факторы риска, в первую очередь, связанные с условиями труда.

Среда обитания человека может быть разделена на внешнюю (вне помещения) и внутреннюю (в квартире, на работе).

Основными элементами жизнеобеспечения человеческого организма являются:

- газовый состав атмосферы (в первую очередь, наличие кислорода),
- вода,
- пища,
- информация из окружающей среды.

Чтобы нормально существовать человек должен дышать чистым воздухом, пить чистую воду, употреблять пищу, не содержащую большие концентрации загрязняющих веществ. Это основная идея экологической безопасности.

Человек в среднем в сутки потребляет 1 кг пищи, 2–3 л воды (суточная потребность городского жителя в воде для пищевых и хозяйственных нужд – более 150 л), 25 кг воздуха (при скорости вдыхания воздуха через нос порядка 3 м/с).

Продукты питания должны соответствовать, по крайней мере, трем важнейшим критериям:

- экологическая чистота (отсутствие токсинов, примесей тяжелых металлов и т. д.);
- пищевая ценность (наличие витаминов, микро- и макроэлементов, органических кислот, белка и т. д.);
- усвояемость в организме.

Рассмотрим некоторые из факторов жизнеобеспечения человека.

### ***Жилые и административные здания***

Один из "запущенных" вопросов – это исследование загрязнений воздуха жилых и рабочих помещений. Учеными доказано, что воздух в помещениях бывает в 8–10 раз токсичнее, чем на улицах.

У проблемы загрязнения воздуха в помещении 3 аспекта:

1. все больше веществ и оборудования, используемых дома и/или в офисах, выделяют потенциально опасные вещества;
2. помещения становятся все более герметичными, а их объем обычно небольшой. Следовательно, концентрация загрязняющих веществ может достигать опасных уровней;
3. время, в течение которого человек контактирует с загрязняющими веществами в помещении (экспозиция), гораздо длительнее, поскольку 70-80% времени суток человек находится в помещении.

Существует много источников загрязнения воздуха в помещении. Наиболее важными являются:

1. Радиоактивное, в первую очередь радон (выделяется из грунта, перекрытий и стен, водопровода, природного газа), а также гамма-излучающие радионуклиды в строительных материалах.

2. Отопительные системы и кухонные плиты, в которых в качестве топлива могут использоваться – природный газ, керосин, масло, нефть, дрова, а в некоторых странах – торф, уголь, кизяк. В воздух помещения поступают окислы азота и углерода, органические вещества и т. д.

3. К менее известным загрязняющим веществам в помещении относятся, например, формальдегид, метилхлорид и большое количество сложных органических веществ, которые выделяются из строительных материалов, мебели. Они применяются для склеивания фанеры, ДСП, в качестве размягчителей для пористой резины и пластиковых обивочных материалов. Например, источником дибутилфталата, аммиака, стирола, формальдегида и некоторых других соединений может служить новая мебель, изготовленная из ДСП. Полихлоридный линолеум долгое время может служить источником более 17 газообразных вредных веществ.

4. Испарение жидкостей для мытья посуды и сантехники, а также другие моющие средства, аэрозоли поверхностно-активных веществ – стиральных порошков.

5. Испарение клеев и других материалов, используемых для домашних поделок.

6. Пестициды.

7. Освежители воздуха и дезинфицирующие средства. Большинство освежителей воздуха либо подавляют чувство обоняния, либо приносят сильный аромат, заглушающий неприятный запах, так что о свежести речь не идет.

8. Аэрозоли всех видов, в том числе косметика, бытовая химия.

9. Курение. На первом месте по вредности для легких стоит курение. С табачным дымом человек помимо никотина, о котором много говорилось и писалось, вдыхает бенз(а)пирен – вещество, известное своими канцерогенными свойствами. Ежегодно курящие получают до 15 мг этого вещества, что только в 5–7 раз меньше дозы, вызывающей токсическое истощение мозга. В дыме сигарет содержится большое количество органических веществ: изопрен, ацетон, изобутилен, бутен-1, толуол, пропилен и др. Установлено, что токсичность табака примерно в 4 раза опаснее выхлопного газа автомобиля.

Как же воздействуют на организм вещества, которые содержатся в табаке? Окись углерода – на элементы крови, частицы копоти поражают альвеолы легких, никотин – кровеносные сосуды и нервные клетки. Синильная кислота пагубно действует на обмен веществ. Смолистые вещества типа гудрона наряду с канцерогенными способствуют заболеванию раком. Мышьяк и аммиак также оказывают влияние на обмен веществ. Наконец, радиоактивные полоний-210, свинец-210, висмут-210 испуска-

ют альфа и бета частицы, что является источником облучения. В итоге смертность от рака легких у курящих в 35 раз выше, чем у некурящих. Помимо этого курение представляет опасность и для некурящих людей, но присутствующих в местах курения (так называемое "пассивное курение").

10. В старых домах можно обнаружить в воздухе асбестовые волокна, отрывающиеся от теплоизолирующих материалов. (Асбест – природный минерал, вызывающий канцерогенный эффект).

11. К загрязняющим веществам относятся продукты жизнедеятельности живых организмов, включая человека, а также некоторые микроорганизмы, например, бактерии, клещи, грибы.

К загрязнителям помещений физической природы относят:

- Загрязнения акустической природы (шум, инфразвук, вибрации, ультразвук).
- Тепловое загрязнение.
- Световое загрязнение.
- Электромагнитные поля.
- Ионизирующие излучения.

**Загрязнения акустической природы.** Важную группу энергетических выбросов представляет колебательно-волновое движение частиц упругой газовой, жидкой и твердой фаз – это различные шумы, вибрации, инфразвук, ультразвук.

Под звуком понимают волнообразно распространяющиеся колебания частиц упругой среды – твердого тела, жидкости, газа. Различают биологическое и физическое понятие звука.

К **биологическому** понятию относят колебания и волны, которые воспринимаются человеческим органом слуха. Ощущение звука проявляется только в том случае, если частота колебаний и их интенсивность лежат в определенных пределах от 15–20 Гц до 20 кГц. Наибольшая чувствительность человеческого уха – 1–4 кГц, сила звука примерно  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>. Болевые ощущения возникают при силе звука свыше 1 Вт/м<sup>2</sup>. Единицей измерения интенсивности звука служит бел – это логарифм отношения данной интенсивности звука к пороговой интенсивности звука, первоначально принятой за минимальную интенсивность звука, воспринимаемую ухом человека. На практике чаще всего применяется его десятая часть – децибел (дБ).

Порог чувствительности уха к звукам – 0 дБ, звуки интенсивностью свыше 130 дБ вызывают ощущение боли.



Упругие колебания меньше 15 Гц – это инфразвук, более 20 кГц до  $10^9$  Гц – это ультразвук,  $10^9$ – $10^{13}$  Гц – это гиперзвук. Они не воспринимаются человеческим ухом.

**Физическое** понятие о звуке объединяет как слышимые, так и неслышимые колебания упругих сред (от 0 до  $10^{13}$  Гц).

Источниками звука являются:

1. Колебательные или автоколебательные системы (музыкальные инструменты, голос, паровые и пневматические свистки и т. п.). Под действием локального источника энергии возникают либо собственные затухающие колебания, либо незатухающие автоколебания.
2. Вращательные системы (винт самолета, корабля, ротор электромеханического устройства, турбины и др.). Периодические изменения давления и скорости среды вызываются от вращающихся тел.
3. Электроакустические преобразователи (телефоны, громкоговорители, эталонные источники звука и др.).

В экологии используют термин «шумовое загрязнение». Шум рассматривается как любой звук, воспринимаемый людьми как неприятный, мешающий или даже вызывающий болезненные ощущения. Шумы делят на низкочастотные (ниже 350 Гц), среднечастотные (350–800 Гц) и высокочастотные (свыше 800 Гц). Более вредными считаются высокочастотные шумы.

Шум, как физический фактор, представляет собой волнообразно распространяющееся механическое колебательное движение упругой среды, носящее, как правило, беспорядочный, случайный характер. Характер производственного шума зависит от видов источников:

- механический – в результате работы различных механизмов;
- ударный – в процессековки, клепки и др.;
- аэродинамический – при движении воздуха по трубам или вследствие стационарных либо нестационарных процессов в газе;
- взрывной – при работе двигателей внутреннего сгорания.

Реакция на шум сильно зависит от особенностей личности, возраста, пола, состояния здоровья, профессии. Различают следующие градации действия шума:

1. Мешающее действие растет с увеличением громкости, не зависит от индивидуальной чувствительности и от конкретной ситуации. Мешающее действие шума может быть связано и с информацией, которую он несет. Как помеха, шум может восприниматься с уровня 25 дБ.

2. Активация, то есть возбуждение центральной и вегетативной нервной системы, нарушение сна, способности расслабляться.

3. Влияние на работоспособность.

4. Помехи для передачи информации и нарушение общей ориентации в звуковой среде.

5. Возникновение заболеваний. Постоянное воздействие шума может вызвать глухоту из-за повреждения чувствительных к звуку клеток внутреннего уха.

В зависимости от времени воздействия шум может приводить к стрессу, который нарушает наши внутренние «часы».

Примером **инфразвуковых волн** является открытый академиком Шулейкиным В. В. эффект, названный «голосом моря». При обдувании штормовым ветром морских волн вдали от берега возникают инфразвуковые колебания с частотой от десятых долей до нескольких герц – это колебания от завихрений ветра на гребнях морских волн. Присутствуют они (а также **ультразвуковые** колебания) в шуме ветра и леса («голос природы»). Распространяясь до берега со значительно большими скоростями, чем скорость штормового ветра, эти колебания служат сигналом приближающегося шторма. Другой пример – сейсмические волны, возникающие в земной коре. По характеру их распространения можно изучать строение земной коры и производить разведку полезных ископаемых.

К антропогенным источникам инфразвуковых волн относят механизмы с большой поверхностью, совершающие вращательные или возвратно-поступательные движения, например, виброплощадки; реактивные двигатели, турбины ДВС большой мощности, мощные аэродинамические установки, транспорт, вентиляторы, компрессоры и др.

К источникам **вибраций** относят технологическое оборудование ударного действия (молоты, прессы), мощные энергетические установки (насосы, компрессоры, двигатели), рельсовый транспорт (метро, трамвай, железнодорожный транспорт), инженерное оборудование зданий (лифты, насосные установки).

Колебания упругих сред с частотами более 20 кГц называют **ультразвуком**. Он тоже не вызывает слуховых ощущений. Ультразвук применяют в современных технологиях (дефектоскопия, обработка материалов), медицине (диагностика, хирургия и т. п.), радиотехнике.

**Тепловое** (термальное) загрязнение возникает в результате повышения температуры среды главным образом в связи с промышленными выбросами нагретого воздуха, отходящих газов и воды.

Источниками теплового загрязнения являются нагретые сточные воды промышленных предприятий и электростанций, выбросы продуктов сжигания на металлургических, нефте- и газодобывающих и перерабатывающих предприятиях. Тепловое загрязнение может возникать как вто-

ричный результат от изменения химического состава среды (парниковые газы).

**Световое** загрязнение обусловлено нарушением естественной освещенности местности в результате воздействия искусственных источников света, приводящее к аномалии в жизни растений и животных.

Световое загрязнение может быть вызвано как естественными источниками, например, молния, так и искусственными, например, промышленные источники освещения высокой интенсивности, маяки, аэропорты, оживленные автомагистрали и т. п.

**Электромагнитное загрязнение.** Электрические, магнитные и электромагнитные поля (ЭМП), окружающие созданные человеком электроприборы и аппаратуру, – явление типичное для 21 века.

Природные поля и излучения, проникающие в квартиры, представлены:

1. атмосферным электричеством;
2. электромагнитным излучением;
3. потоком тепловых нейтронов, приходящих из земли и космического пространства;
4. частицами высоких энергий (электроны, протоны);
5. радиоволнами различных частот;
6. магнитными полями.

Геомагнитные и гравитационные поля оказывают особое влияние на человека, поскольку он постоянно находится в сфере их действия. Эти поля являются синхронизаторами биологических ритмов.

Источниками искусственных ЭМП и излучений могут быть:

- бытовые приборы и устройства (телевизор, кухонная СВЧ печь, радиоприемники и др.);
- промышленные установки, радиопередатчики, телестанции, базовые станции мобильной связи, трансформаторные станции, электросиловые установки, ЛЭП;
- на первом этаже и в подвалах зданий часто устанавливают насосы, вентиляторы, дроссели, выпрямители. Они работают круглосуточно и создают ЭМП, шум, вибрацию;
- под землей в городе проложены телефонный, телевизионный и электрический кабельные сети, линии метро др.

Суточные колебания ЭМП могут быть значительными: к вечеру снижаются, а в период работы промышленных предприятий увеличиваются.

Воздействие разнообразия естественных и искусственных источников электромагнитного излучения в последние годы привело к появлению такого понятия как **электросмог**.

Из чего складывается электросмог:

1. Переменные электрические поля – следствие деятельности человека. Их источником являются все приборы, питающиеся от сети переменного тока, подводящие провода и кабели.

2. Переменные магнитные поля.

Особенно высокий их уровень наблюдается вблизи телевизоров, холодильников, ламп дневного света и всех приборов, имеющих трансформаторы. Мощным источником переменных магнитных полей являются также высоковольтные линии электропередач, электрические кабели, подстанции, электросеть железных дорог.

3. Высокочастотные (ультракороткие) электромагнитные волны.

Их источником являются радио- и телепередатчики, радиотелефоны, радары, микроволновые печи, лазерные приборы и другие аналогичные приборы. Естественный, хотя и слабый источник радиоволн – Солнце.

4. Электростатика (постоянные электрические поля).

Электрический заряд накапливается на непроводящих поверхностях, например, в результате механического трения или движения воздуха. Величина статического заряда зависит от влажности воздуха и удельной проводимости поверхности. В некоторых случаях на поверхности может скопиться заряд до 10000 В/м. В природных условиях величина статического заряда варьируется от 20 В/м (в лесу) до 200 В/м (на открытом пространстве). При ветре эта величина повышается до 500–5000 В/м, перед грозой и во время грозы – от 2000 до 20 000 В/м.

5. Постоянные магнитные поля (магнитостатика).

Естественный источник – магнитное поле Земли. Величина магнитного поля Земли равна в среднем 40 000 нанотесла. В районах магнитных аномалий, например, месторождений железных руд, уровень магнитного поля повышен. Искусственные источники магнитного поля – постоянные магниты используются в динамических громкоговорителях.

## **2.12. Экология питания**

Для поддержания нормальной жизнедеятельности и обмена веществ человек ежедневно потребляет с пищей белки, жиры, углеводы, микроэлементы, витамины и др. биологически активные вещества. Основными функциями этих компонентов пищи являются обеспечение построения новых структур клеток и обеспечение энергии для жизнедеятельности (топливные молекулы). Питание является одним из наиболее активных и важных факторов внешней среды, которое оказывает разнообразное

влияние на организм человека, обеспечивает его рост, развитие, сохранение трудоспособности и оптимальной продолжительности жизни.

Большая часть многих токсических веществ поступает в организм человека с пищевыми продуктами. Так, например, до 40–70 % всего суточного поступления свинца попадает именно этим путем. Загрязняющие вещества могут попадать в пищу случайно, а иногда их вводят специально в виде пищевых добавок, когда это связано с технологической необходимостью. В пище загрязняющие вещества могут в определенных условиях стать причиной пищевой интоксикации, которая представляет собой опасность для здоровья человека. При этом общая токсикологическая ситуация еще больше осложняется частым приемом других, не относящихся к пищевым продуктам веществ, например лекарств, попаданием в организм чужеродных веществ в виде побочных продуктов производственной и других видов деятельности человека через воздух, воду, потребляемые продукты и медикаменты. Химические вещества, которые попадают в продукты питания из окружающей нас среды, создают проблемы, решение которых является насущной необходимостью.

Состав пищевых продуктов можно условно представить в виде схемы, изображенной на рис. 5.

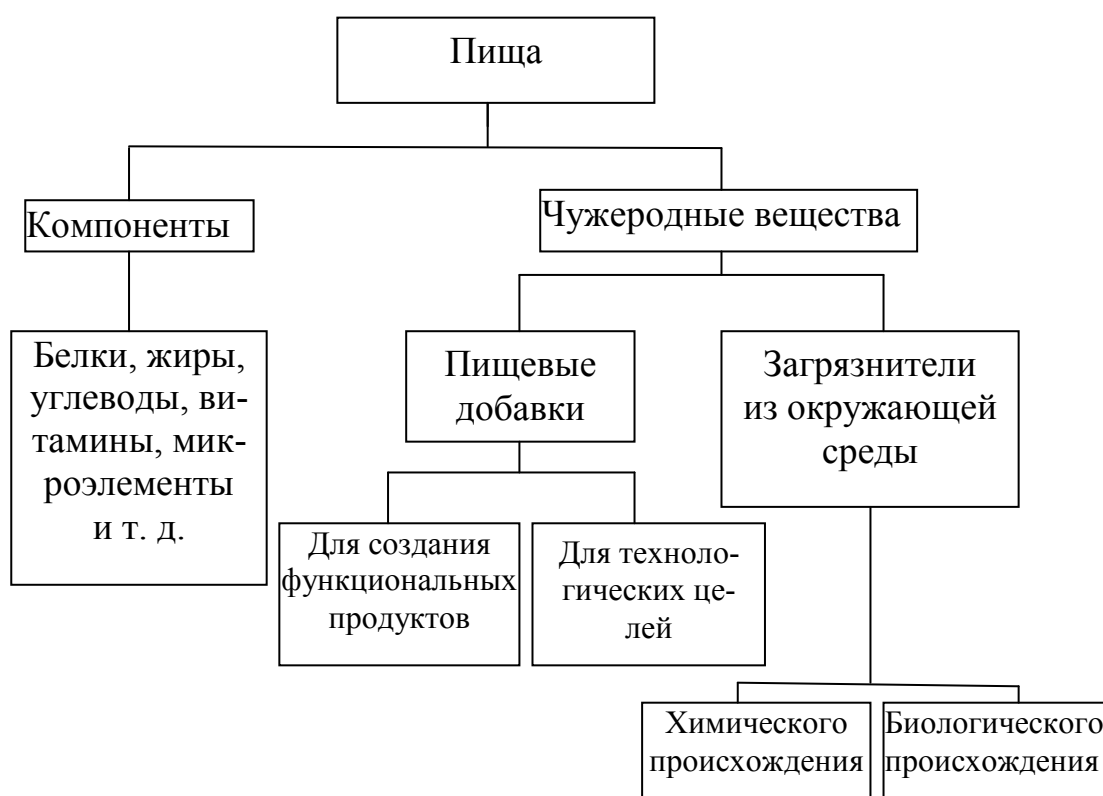


Рис. 5. Состав пищевых продуктов

В литературе встречаются различные виды классификаций загрязняющих веществ пищевых продуктов из окружающей среды. Один из них представлен на рис. 6.



Рис. 6. Классификация загрязнителей пищевых продуктов

К загрязнениям из окружающей среды относятся радиоактивные и ядовитые отходы промышленности, транспорта и домашнего хозяйства, попадающие через воздух, воду и почву в продукты питания или проникающие в них при хранении. Загрязнения компонентами упаковочных материалов – загрязнения от металлической тары (свинец, олово), от пропитанной бумаги или от дерева. Такие загрязнения часто переходят в продукты питания. В последнее время все больше применяются синтетические полимерные материалы, которые выделяют в пищевые продукты не прореагировавшие соединения или исходные компоненты. Кроме того, они иногда придают продуктам не свойственные им вкус и запах. Проблема загрязнения микроорганизмами усугубилась, когда установили, что плесень содержит высокотоксичные соединения (микотоксины). Бактериальные токсины, вызывающие ботулизм, а также другие продукты обмена ряда патогенных микроорганизмов, могут представлять собой смертельную опасность для человека. Установлена токсичность условно патогенных микроорганизмов, таких как кишечная палочка, молочнокислый стрептококк.

Другой группой чужеродных веществ, вводимых в пищевые продукты с определенной целью, являются пищевые добавки (в том числе биоло-

гически активные добавки – БАДы). Их классификация представлена на рисунке 7.



Рис. 7. Классификация пищевых добавок

По определению ВОЗ «**Пищевые добавки** – это природные соединения и химические вещества, которые в ограниченных количествах могут вводиться в продовольственные товары для улучшения питательных свойств, лучшей сохранности и привлекательности продуктов».

Добавление некоторых видов пищевых добавок позволяет получать новые функциональные пищевые продукты. Функциональные продукты (продукты профилактического питания) – это пищевые продукты, обогащенные с помощью специальных щадящих технологий ценными растительными, биологически активными добавками, микроэлементами и витаминами и предназначенные для укрепления иммунной системы и нормализации системы пищеварения человека.

**Нутрицевтики** – это биологически активные добавки, предназначенные для восполнения эссенциальных веществ (незаменимых факторов питания) в организме.

**Парафармацевтики** – это биологически активные добавки, способные регулировать разные процессы в организме.

**Пробиотики** – это продукты, содержащие живые микроорганизмы, которые благотворно влияют на микрофлору желудочно-кишечного тракта, тем самым нормализуя его деятельность.

### 2.13. Мониторинг

Чтобы выделить антропогенные изменения на фоне естественных, предупредить наступление возможных критических ситуаций, например, в результате превышения загрязнения воздуха, воды, почвы выше ПДК, возникает необходимость в организации специальных наблюдений за изменением состояния биосферы под влиянием человеческой деятельности. Такую систему постоянных наблюдений называют **мониторингом** антропогенных изменений окружающей среды. В более широком смысле в понятие мониторинга включается не только наблюдение за окружающей средой, а также контроль и управление состоянием окружающей среды, т. е. целенаправленное воздействие на нее.

Существуют различные системы классификации мониторинга.

Например, **химический** мониторинг – система наблюдений за химическим составом природного и антропогенного происхождения атмосферы, осадков, вод, растительности и т. п. (см. таблицу 6)

**Физический** мониторинг – система наблюдений за влиянием физических процессов и явлений на окружающую среду.

**Биологический** мониторинг – с помощью биоиндикаторов, т. е. организмов, по наличию, состоянию и поведению которых судят об изменениях в окружающей среде.

**Дистанционный** мониторинг – в основном авиационный, космический – с применением летательных аппаратов, оснащенных радиометрической аппаратурой, способной осуществлять активное зондирование изучаемых объектов и регистрацию опытных данных. Получен целый ряд экологических карт, например карты радиационной обстановки Республики Беларусь в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

**Универсальный** мониторингом является комплексный экологический мониторинг окружающей среды – это организация системы наблюдений за состоянием объектов окружающей природной среды для оценки их фактического уровня загрязнения и предупреждения о создающихся критических ситуациях, вредных для здоровья людей и др. живых организмов. В комплексном экологическом мониторинге выделяют локальный, региональный и биосферный.

**Глобальный (биосферный)** мониторинг – слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере Земли, включая все ее экологические компоненты, и предупреждения о возникающих экстремальных ситуациях.

**Базовый (фоновый)** мониторинг – слежение за общебиологическими, в основном природными, явлениями без наложения на них региональных антропогенных влияний.



**Национальный** мониторинг – мониторинг в масштабах страны.

**Региональный** мониторинг – слежение в пределах одного региона, где процессы и явления могут отличаться от базового фона, характерного для всей биосферы.

**Локальный (импактный)** мониторинг – мониторинг воздействия конкретного антропогенного источника.

Мониторинг **источников загрязнений** – это мониторинг точечных стационарных источников (заводские трубы), точечных подвижных (транспорт), пространственных (города, поля с внесенными химическими веществами).

Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (НСМОС) представляет собой совокупность систем наблюдений, оценок и прогноза состояния природных сред и явлений, а также биологических откликов на изменение окружающей среды под влиянием естественных и техногенных факторов с организацией сбора, обработки и представления мониторинговой информации органам управления и хозяйствования для решения общегосударственных задач рационального природопользования.

В рамках НСМОС ведутся наблюдения за наиболее важными и информативными показателями состояния окружающей среды. Координация работ по Программе НСМОС осуществляется Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, при котором создан постоянно действующий Межведомственный координационный совет по мониторингу.

Контроль радиационно-экологической обстановки ведется по трем природным средам: вода, воздух и почва.

Мониторинг поверхностных вод осуществляется в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) и проводится в 301 пункте наблюдений, из которых 180 расположено на водотоках и 121 – на водоемах. Регулярными наблюдениями охвачен 161 водный объект, из них 87 водотоков и 74 водоема.

Характеристика качества поверхностных вод, оценка состояния водных объектов и уровня их загрязнения выполняется с использованием утвержденных критериев оценки (показателей качества воды и нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в воде рыбохозяйственных водных объектов). Определены значения фонового содержания металлов в воде для 5 основных бассейнов рек на территории Республики Беларусь. Для оценки уровня загрязнения водных объектов используется показатель превышений ПДК от общего числа определений (повторяемость концентраций выше 1,0 ПДК по конкретному веществу

или по сумме ингредиентов), а также экологические показатели (БПК<sub>5</sub> и концентрация аммонийного азота, концентрации фосфатов и нитратов в реках, общее содержание фосфора и азота в озерах).

В основных публикациях, посвященных оценке состояния водных ресурсов («ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ. Статистический сборник», «СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ. НАЦИОНАЛЬНЫЙ ДОКЛАД», «НАЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: Результаты наблюдений», «Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод») в качестве интегрального показателя качества поверхностных вод используется индекс загрязненности вод (далее ИЗВ). В основе определения ИЗВ лежат среднегодовые концентрации шести ингредиентов: растворённого кислорода, легкоокисляемых органических веществ по БПК<sub>5</sub>, азота аммонийного, азота нитритного, фосфора фосфатов и нефтепродуктов.

Такой подход, основанный на использовании ПДК, не позволяет оценить в полной мере степень антропогенной нагрузки на речные экосистемы, поскольку не учитывает природное качество речных вод. Данный аспект особенно важен для речных систем Беларуси, поскольку по многим рекам наблюдаются повышенные фоновые концентрации по ряду показателей и ингредиентов, порой значительно превышающие значения ПДК. Кроме того, следует отметить, что оценка качества поверхностных вод по ИЗВ на сегодняшний день используется только в Беларуси, что затрудняет сопоставление оценок качества поверхностных вод при трансграничном сотрудничестве.

Гидробиологический мониторинг в Беларуси проводится на 152 водных объектах (81 – реки, 50 – озера, 20 – водохранилища, 1 – канал) в 258 пунктах наблюдений. Наблюдения по гидробиологическим показателям проводят три раза в год в наиболее показательные для оценки состояния водных объектов периоды:

- в начале вегетационного периода;
- в середине вегетационного периода;
- в зимний период.

Классификация качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям проводится с помощью методов биоиндикации, основанных на изучении структуры гидробиоценозов и (или) их отдельных компонентов. В системе гидробиологического мониторинга фактически для всех сообществ определяются такие показатели, как таксономический

состав, включая виды–индикаторы, численность и биомасса сообществ, доминирующих групп и массовых видов гидробионтов.

Контроль за радиоактивным загрязнением поверхностных вод проводится на 5 основных реках Беларуси: Днепр, Припять, Сож, Ипуть и Беседь, протекающих по территории, загрязненной радионуклидами.

Гидроморфологический мониторинг в Республике Беларусь как вид мониторинга поверхностных вод не проводится. С 2012 г. начаты научные проработки по созданию основ ведения гидроморфологического мониторинга в зонах размещения крупных ГЭС. Необходимо отметить, что хотя сети гидрохимического и гидробиологического мониторинга поверхностных вод достаточно равномерно размещены по всем основным речным бассейнам и частота отбора проб и перечень наблюдаемых параметров в целом отвечают критериям ВРД и практике ведения мониторинга стран ЕС, система мониторинга поверхностных вод в Беларуси значительно отличается от аналогичных систем стран ЕС.

Наблюдения за качеством атмосферного воздуха ведутся в 14 городах республики на 46 стационарных постах. Проводится отбор проб воздуха для определения:

- основных загрязняющих веществ: пыли, двуокиси серы, двуокиси азота, окиси углерода;
- специфических примесей, характерных для каждого конкретного города: аммиак, белок БВК, бенз(а)пирен, сероуглерод, фенол, сероводород, хлористый водород, цианистый водород, дипил, тяжелые металлы.

Ежедневно более чем на 50 стационарных станциях, расположенных по всей территории Беларуси, в том числе в зонах влияния атомных электростанций, расположенных вблизи границ Республики Беларусь, измеряется мощность экспозиционной дозы гамма-излучения. На 181 площадке проводится отбор почв для определения радионуклидов, на 18 ландшафтно-геохимических полигонах проводится изучение вертикальной и горизонтальной миграции различных радионуклидов в различных типах почв, на 22 станциях измеряются радиоактивные выпадения из атмосферного воздуха, а в Минске, Бресте, Могилеве, Гомеле и Мозыре ежедневно измеряется содержание радиоактивных аэрозолей в приземном слое атмосферы. Вся информация по радиоактивному и химическому загрязнению природных сред заносится в банк данных Республиканского центра радиационного контроля и мониторинга окружающей среды.

Распределение загрязняющих веществ по классам приоритетности с указанием объектов (среды), в которых проводятся их измерения, представлены в табл. 6.

Таблица 6

**Распределение загрязняющих веществ по классам приоритетности**

Класс приоритетности	Загрязняющий агент	Среда	Уровень измерений *
I	SO <sub>2</sub> + взвешенные частицы	Воздух	И, Р, Б
	Радионуклиды Sr-90 и Cs-137	Пища	И, Р
II	O <sub>3</sub>	Воздух	И, Б
	ДДТ и др. хлорорганические соединения	Человек, биота	И, Р
	Кадмий и его соединения	Пища, вода, человек	И
III	Нитраты, нитриты	Вода, пища	И
	NO <sub>x</sub>	Воздух	И
IV	Ртуть и ее соединения	Пища, вода	И, Р
	CO <sub>2</sub>	Воздух	Б
V	CO	Воздух	И
	Нефтеуглеводороды	Морская вода	Р, Б
VI	Флюориды	Питьевая вода	И
VII	Асбест	Воздух	И
	Мышьяк	Питьевая вода	И
VIII	Микротоксины	Пища	И, Р
	Микробиологическое загрязнение	Пища	И, Р
	Реактивные углеводороды	Воздух	И

\*Уровень мониторинга (измерений): Б – биосферный (глобальный); Р – региональный; И – импактный (локальный).

**2.14. Моделирование в экологии**

Моделирование – это метод опосредованного практического и теоретического оперирования объектом, при котором исследуется непосредственно не сам интересующий объект, а используется вспомогательная искусственная или естественная система (модель), соответствующая свойствам реального объекта.

Модель, согласно В. А. Штоффу (1966) – это «мысленно представимая или материально реализованная система, которая, отражая или воспроиз-

водя объект исследования, способна замещать его так, что ее изучение дает новую информацию об этом объекте».

Другими словами, **модель** – это абстрактное описание какого-то явления реального мира, позволяющее делать предсказания об этом явлении. Хотя любая модель всегда упрощена и отражает лишь общую суть или вероятный сценарий процесса, то есть не копирует, а имитирует реальность, тем не менее, моделирование позволяет экспериментировать, использовать процессы и явления, недоступные для непосредственного наблюдения.

Одна из классификаций моделей представлена на рис. 8.

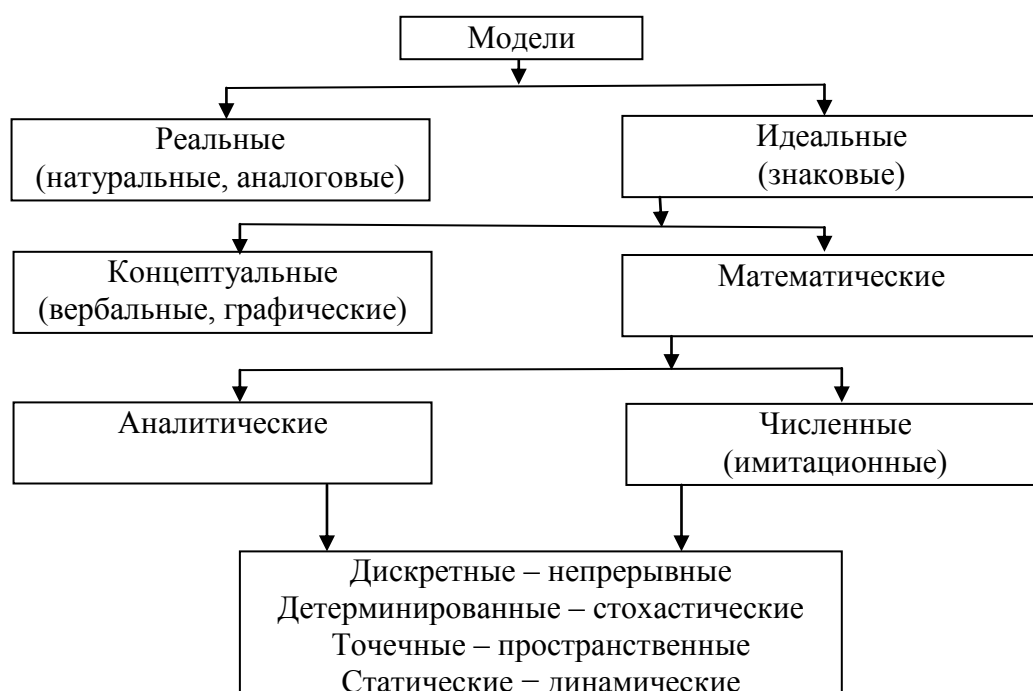


Рис. 8. Классификация моделей  
(по В. Д. Федорову и Т. Г. Гильманову, 1980)

Моделирование экологических явлений используется для практических прогнозов динамики явлений, для исследования взаимосвязей видов и сообществ со средой, для определения воздействия факторов и для выбора путей рационального вмешательства человека в жизнь природы.

В простейшей форме модель может быть словесной или графической, т. е. неформализованной.

Если мы хотим получить достаточно надежные количественные прогнозы, то модель должна быть статистической и строго математической (формализованной).

**Знаковые модели** – это условное описание объекта, осуществляемое с помощью разных символов и операций над ними, интерпретируемое как образ реального объекта.

**Реальная модель**, в отличие от знаковой, отражает существенные, реальные черты объекта-оригинала (рис. 8).

Моделирование обычно начинают с построения схемы или графической модели (рис. 9).

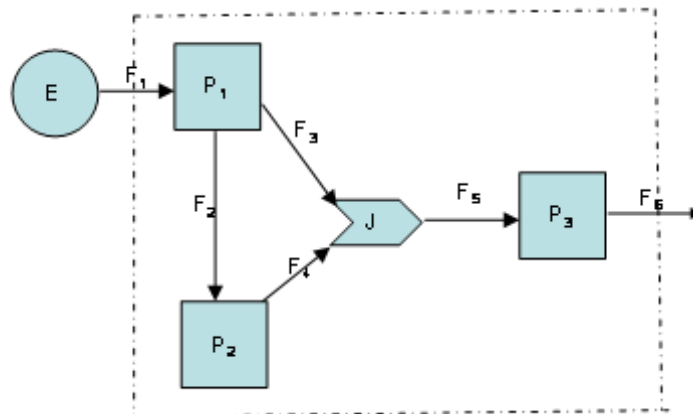


Рис. 9. Блок- схема модели.

На блок-схеме  $P_1$  и  $P_2$  – это два свойства или параметра компонентов, которые при их взаимодействии  $J$  дают некое третье свойство или параметр  $P_3$ , когда система получает энергию от источника  $E$ .

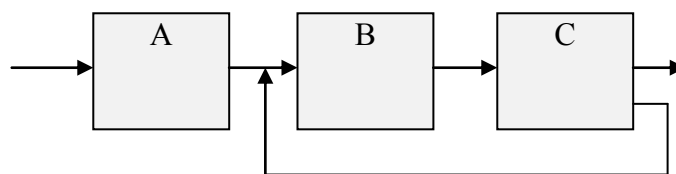
Обозначены также 5 направлений потоков вещества и энергии  $F$ , из которых  $F_1$  – вход, а  $F_6$  – выход для системы как целого.

При этом важное место занимают физические явления, относящиеся к связям организмов со средой, например:

- процессы теплопередачи путем конвекции, теплопроводности и излучения;
- процессы обмена количеством движения. Они определяют, например, силу трения в среде при движении организмов;
- процессы массообмена. Они определяют, например, испарение с поверхности организмов;
- некоторые другие.

Данная блок-схема может представлять лугопастбищную экосистему, может служить моделью образования фотохимического смога над Лос-Анджелесом.

Возможно использование моделей с обратной связью:



Петля управления

Рис. 10. Упрощенная схема системы с сильной обратной связью или петлей управления, в которой выход компонента (или часть этого выхода), находящегося «ниже», направляется обратно и влияет на «верхние» компоненты, управляет ими

Например, обратную связь может оказывать хищный организм С, так уменьшающий численность травоядных животных или растений (В и А, соответственно) в пищевой цепи, что линейная система превращается в частично замкнутую.

Эта же схема может изображать идеальную экономическую систему, в которой ресурсы А превращаются в полезные товары В. При этом образуются отходы С, которые после переработки снова пускаются в производство А→В, что уменьшает итоговое количество отходов.

Как правило, природные экосистемы имеют кольцевую или петлеобразную, а не линейную структуру (рис. 11).

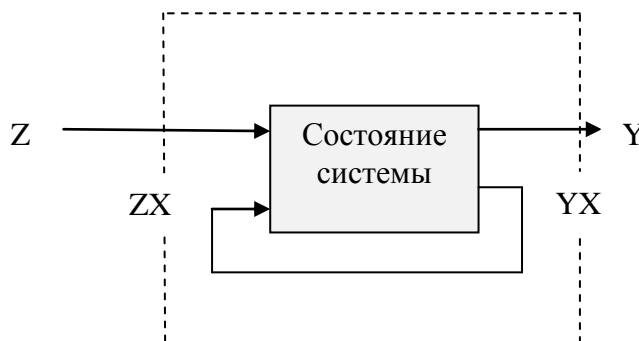


Рис. 11. Общая модель системы с внутренней петлей обратной связи

Два типа внешних сигналов – внешний Z и внутренний ZX действуют на рассматриваемую единицу, поддерживая ее состояние или через какое-то время переводя ее в новое состояние и производя новые сигналы на выходе. Теоретически эта внутренняя петля имеет тенденцию поддерживать организованное состояние, несмотря на нарушающие внешние воздействия

Моделирование продолжается составлением математической модели.

Первые математические модели были моделями простейших экосистем: хищник-жертва; паразит-хозяин.

Далее следовали модели процессов пищевых отношений популяций.

С появлением ЭВМ началось моделирование еще более сложных саморегулирующихся систем с обратной связью – популяций, биоценозов, микроорганизмов в культиваторах и т. п.

Далее – мониторинг и прогнозирование.

Математическое описание экологических систем делят на 2 группы:

- описание для практических целей – это имитационные модели или имитации,
- описания для выявления общих экологических закономерностей – это качественные модели или просто модели.

Простейшая математическая модель – это дифференциальное уравнение, описывающее рост численности популяции какого-либо вида:

$$dx/dt = r \cdot x,$$

где  $x$  – плотность популяции в любой момент времени  $t$ ,

$r$  – скорость роста, принята постоянной.

Решением уравнения является функция

$$x = x_0 \cdot e^{rt},$$

где  $x_0$  – плотность популяции в момент времени  $t = 0$ .

Однако из этой модели следует, что возрастной состав популяции не изменится во времени. Это справедливо только для ограниченного периода времени.

Рассмотрим некоторые примеры математических моделей в экологии.

Пример 1. Уравнение баланса тепла в биосфере (с учетом жизнедеятельности организмов).

$$R + M = C + E + G$$

$R$  – средний поток излучения Солнца на единицу поверхности;

$M$  – средний поток теплового излучения метаболической природы на единицу поверхности;

$C$  – потери тепла в единицу времени путем конвекции на единицу поверхности;

$E$  – потери на испарение с единицы поверхности в единицу времени и потери на дыхание в единицу времени;

$G$  – потери за счет теплопроводности в среду в единицу времени с единицы поверхности.

*(Знаки входящих в уравнение величин определяются направлением градиента температуры).*



Для живых организмов (включая животных, людей) величина потока энергии  $M$ , обусловленная метаболизмом, определяется размерами, возрастом, активностью, питанием, и может быть рассчитана по формуле:

$$M = A W^n,$$

$W$  – масса организма (от  $10^{-3}$  до  $10^3$  кг);

$n = 0,75$ ;  $A = 1,8$  Вт/кг.

При сухом воздухе испарение с поверхности кожи соответствует соотношению

$$E/M = 0,16.$$

С учетом дыхания это соотношение составит

$$E/M = 0,24.$$

Для расчета тепловых потерь вводят сопротивления конвективному ( $r_H$ ) и радиационному ( $r_R$ ) теплообменам.

Тогда:

$$R = \rho C_p (T_1 - T_2) / r_R, \quad C = \rho C_p (T_1 - T_2) / r_H,$$

где  $\rho$  – плотность;  $C_p$  – теплоемкость при постоянном давлении;  $T_1$  – температура организма;  $T_2$  – температура окружающей среды.

Для организмов малых размеров ( $0,1 \text{ см} < d < 1 \text{ см}$ )

$$r_H < r_R.$$

Эти организмы существенно связаны с окружающей температурой воздуха. Мелкие животные большую часть тепла отдают путем конвекции и находятся как бы в микроклимате. Необходимо также учитывать то, что они находятся вблизи поверхности земли, меньше подвергаются воздействию ветра.

Для организмов больших размеров ( $d > 100 \text{ см}$ ) температура тела определяется излучением, а не температурой окружающей среды.

Пример 2. Расчет распределения концентрации загрязнителей по подстилающей поверхности относительно источника эмиссии – дымовой трубы промышленного предприятия.

## Расчет высоты (h) трубы предприятия

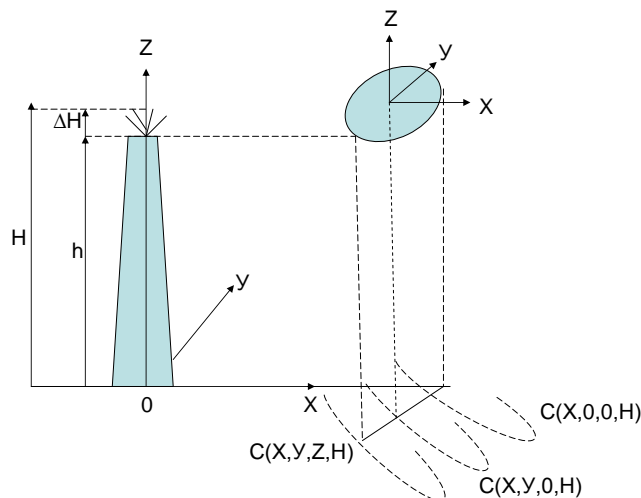


Рис.12. Схематичное изображение переноса выбросов от промышленного предприятия

Используют решения уравнений (1) или (2)

### 1) уравнение турбулентной диффузии

$$dC/dt = U_x \cdot dC/dX + U_y \cdot dC/dY + U_z \cdot dC/dZ, \quad (1)$$

где:  $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_z$  – турбулентные пульсации по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$   
 $(U_x = dK_x/dX$ , где  $K_x$  – коэффициент турбулентной диффузии в направлении соответствующей оси),

$C$  – концентрация загрязнителя;  $t$  – время.

### 2) уравнение статистического распределения Гаусса

Эмиссия загрязнений  $Q$ , благодаря летучести, возвышает факел над уровнем трубы на высоту  $H$ . При этом действующая высота трубы, принимаемая в расчетах, определяется как

$$h + \Delta H = H, \text{ м}$$

Сеттон, используя статистическую теорию, предложил формулу расчета концентрации загрязнений, которая была получена им виде:

$$\Psi(x, y, z) = 2 \cdot Q / (\pi \cdot C_y \cdot C_z \cdot \bar{U} \cdot X^{2-n}) e^{- (1/X^{2-n}) [y^2 / C_y^2 + (z - H)^2 / C_z^2]} \quad (2)$$

Здесь  $Q$  – суммарное количество выбросов из трубы (или массовый расход),  $\bar{U}$  – средняя скорость ветра, м/с,  $n$  – показатель, характеризующий метеорологические условия ( $0 < n < 1$ ),  $C_y$  и  $C_z$  – коэффициенты, кото-

рые характеризуют вертикальную и горизонтальную диффузию и определяются экспериментальным путем.

Все величины выражаются в единицах одной системы. При принятых значениях  $C_y$  и  $C_z$ , расстояние, на котором будет максимальная концентрация загрязнений в направлении  $Y=0$  у подстилающей поверхности, т. е.  $Z=0$ , определяется в виде

$$X_{om} = (H/C_z)^{2/2-n},$$

а максимальная концентрация в этой точке равна

$$\psi_{om} = (2Q/e \cdot p \cdot \bar{U} \cdot H^2) \cdot C_z/C_y.$$

Из формулы следует, что максимальная концентрация обратно пропорциональна квадрату высоты, средней скорости ветра и пропорциональна отношению коэффициентов  $C_z/C_y$ .

Пример:

$$H = 117 \text{ м}, \quad X_{om} = (H/C_z)^{2/2-n} = (117/1,1)^{2/2-0,25} = 3200 \text{ м},$$

$$Q = 33 \text{ кг/с},$$

$$\bar{U} = 5 \text{ м/с},$$

$$\psi_{om} = (2Q/e \cdot p \cdot \bar{U} \cdot H^2) \cdot C_z/C_y =$$

$$= (2 \cdot 33/e \cdot \pi \cdot 5 \cdot 117^2) \cdot 1,1/1,1 = 0,113 \text{ г/м}^3,$$

$$C_y = C_z = 1,10,$$

$$n = 0,25.$$

Сопоставление этой концентрации с предельно допустимой (ПДК) позволяет оценить проект промышленного предприятия с точки зрения его вредного влияния на атмосферный воздух окружающей территории.

Зная концентрацию дымового потока и состав, можно найти концентрации наиболее вредных компонентов.

Так, например, максимальное содержание  $SO_2$  в дымовом факеле не должно превышать 20 %.

Проект считают удовлетворительным, если выполняется условие:

$$\psi_{om} \leq \text{ПДК} \quad \text{для соответствующего ингредиента.}$$

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Одум, Ю.* Экология / Ю. Одум. – М. : Мир, 1986. Т.1. – 325 с.
2. *Одум, Ю.* Экология / Ю. Одум. – М. : Мир, 1986. Т.2. – 373 с.
3. *Небел, Б.* Наука об окружающей среде / Б. Небел. – М. : Мир, 1993. – Т. 1. – 424 с.
4. *Небел, Б.* Наука об окружающей среде / Б. Небел. – М. : Мир, 1993. – Т. 2. – 336 с.
5. *Акимова, Т.* Экология / Т. Акимова. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 566 с.
6. *Войткевич, Г.* Основы учения о биосфере / Г. Войткевич. – Ростов-н/Д : Феникс, 1996. – 478 с.
7. *Вронский, В.* Прикладная экология / В. Вронский. – Ростов- н/Д : Феникс, 1996. – 509 с.
8. *Калыгин, В.* Промышленная экология / В. Калыгин. – М. : МНЭПУ, 2000. – 240 с.
9. *Гричик, В. В.* Экология и рациональное природопользование : учеб. пособие для студ. учреждений высш. образования по биологическим спец. / В. В. Гричик, Л. В. Камлюк, Г. А. Семенюк. – Минск : БГУ, 2013. – 207 с.
10. *Коробкин, В.* Экология / В. Коробкин. – Ростов- н/Д : Феникс, 2000. – 576 с.
11. *Стадницкий, Г.* Экология / Г. Стадницкий. – СПб. : Химия, 1999. – 287 с.
12. *Челноков, А.* Основы промышленной экологии / А. Челноков. – Минск : Вышэйшая школа, 2001. – 343 с.
13. *Куклев, Ю.* Физическая экология / Ю. Куклев. – М. : Высшая школа, 2001. – 358 с.
14. *Петросян, Л.* Математические модели в экологии / Л. Петросян. – СПб. : СПб. Университет, 1997. – 254 с.
15. Научно-методические основы организации и ведения национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. – Минск : БелНИЦ Экология, 2000. – 229 с.
16. *Мазур, И.* Инженерная экология / И. Мазур. – М. : Высшая школа, 1996. – Т. 2. – 655 с.
17. *Гарин, В.* Экология для технических вузов / В. Гарин, И. Кленова. – Ростов-н/Д : Феникс, 2003. – 383 с.
18. *Болбас, М.* Основы промышленной экологии / М. Болбас. – Минск : Вышэйшая школа, 1993. – 235 с.
19. *Реймерс, Н.* Экология: теории, законы, правила, принципы и гипотезы / Н. Реймерс. – М. : Журн. «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

20. *Андерсон, Дж.* Экология и науки об окружающей среде: биосфера, экосистемы, человечество / Дж. Андерсон. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 165 с.
21. *Ваганов, П.* Экологический риск / П. Ваганов. – СПб. : Изд-во С.-Пб. Университета, 1999. – 116 с.
22. Экология и безопасность жизнедеятельности / Л. Муравей. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 447 с.
23. Экологический энциклопедический словарь. – М. : Ноосфера, 1999. – 930 с.

#### ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. Официальный сайт Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.minpriroda.by](http://www.minpriroda.by)
2. Сайт Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (НСМОС) [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.ecoinfoby.net>
3. Сайт Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь по реализации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.soz.minpriroda.by>
4. Сайт Государственной инспекции охраны животного и растительного мира при Президенте Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – <http://gosinspekciya.gov.by> –
5. Сайт ГУ "Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды" [Электронный ресурс]. – <http://rad.org.by>
6. Сайт Национального координационного центра биобезопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – <http://biosafety.org.by>
7. Сайт Национального научно-исследовательский центра мониторинга озоносферы БГУ [Электронный ресурс]. – <http://ozone.bsu.by>
8. Сайт минского городского комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды [Электронный ресурс]. – <http://minsk.gov.by>
9. Сайт гомельского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды [Электронный ресурс]. – <http://naturegomel.by>
10. Сайт гродненского областного комитета по экологии [Электронный ресурс]. – <http://www.ohranaprirody.grodno.by>
11. Сайт витебского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды [Электронный ресурс]. – <http://vitebsk-region.gov.by>
12. Сайт брестского областного комитета природных ресурсов и охра-

ны окружающей среды [Электронный ресурс]. – <http://www.brest-region.by>

13. Сайт минского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды [Электронный ресурс]. – <http://www.minsk-region.gov.by>

14. Сайт могилевскго областного комитета природоохранных ресурсов и охраны окружающей среды [Электронный ресурс]. – <http://www.region.mogilev.by>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1. Начальные сведения общей экологии .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Прикладная экология .....</b>	<b>24</b>
2.1. Классификация загрязнений окружающей среды .....	24
2.2. Экологические проблемы, связанные с движением автомобильного транспорта.....	31
2.3. Фотохимический смог .....	31
2.4. Разрушение озонового слоя .....	33
2.5. Парниковый эффект .....	35
2.6. Выпадение кислотных дождей .....	36
2.7. Аэрозольное загрязнение атмосферы .....	37
2.8. Источники загрязнения гидросферы .....	38
2.9. Источники загрязнения почв .....	43
2.10. Экология города .....	48
2.11. Экология человека .....	52
2.12. Экология питания .....	60
2.13. Мониторинг .....	63
2.14. Моделирование в экологии .....	68
<b>Рекомендуемая литература .....</b>	<b>76</b>
<b>Интернет-ресурсы .....</b>	<b>77</b>

Учебное издание

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

**Краткий конспект лекций к общему курсу  
для студентов специальностей 1-31 03 01 «Математика (по направлениям)»,  
1-31 03 02 «Механика и математическое моделирование(по направлениям)»,  
1-31 03 08 «Математика и информационные технологии»,  
1-31 03 09 «Компьютерная математика и системный анализ»**

**В трех частях**

**Часть 1**

## **ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ**

**С о с т а в и т е л и**

**Бичан Ольга Дмитриевна  
Герасимова Людмила Казимировна  
Коваленко Елена Иосифовна  
Кулагова Татьяна Александровна**

**В авторской редакции**

**Ответственный за выпуск *О. Д. Бичан***

Подписано в печать 18.04.2016. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,12. Тираж 50 экз. Заказ

Белорусский государственный университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/270 от 03.04.2014.  
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика  
на копировально-множительной технике  
физического факультета  
Белорусского государственного университета.  
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.